ANTENAS

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA





BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ANTENAS



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-732-4 (Vol. 34)
D.L.: B. 28.759-1986

Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts
barcelona 1986

Printed in Spain

Antenas

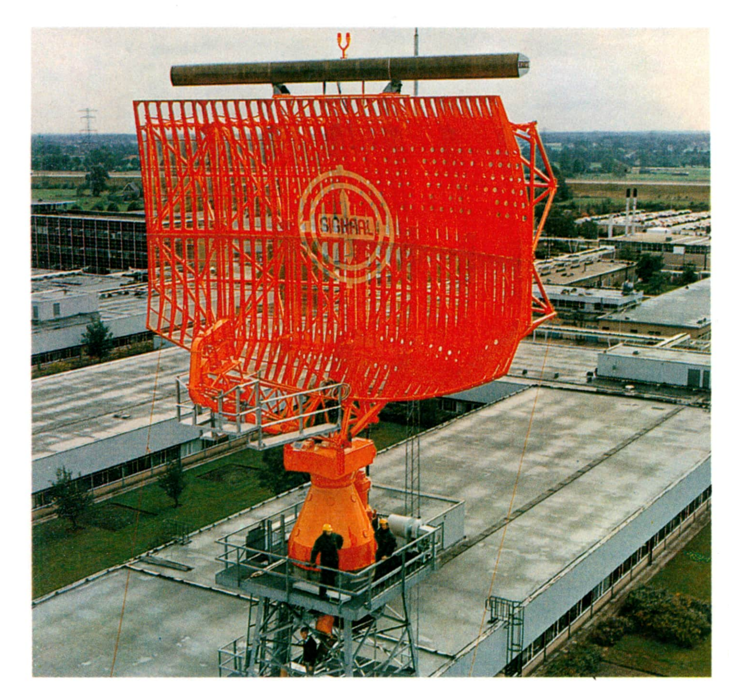
INTRODUCCION

El fundamento teórico de las antenas está enraizado en los principios de la electricidad.

En 1820, Hans Christian Oesterd descubrió que una corriente eléctrica que circulaba por un hilo producía una fuerza magnética alrededor del mismo.

Esta fuerza es, como la de gravitación, de acción a distancia. Esto es: se manifiesta a través del espacio. Nadie sabía ni sabe porqué esto es posible, simplemente es un hecho experimental.

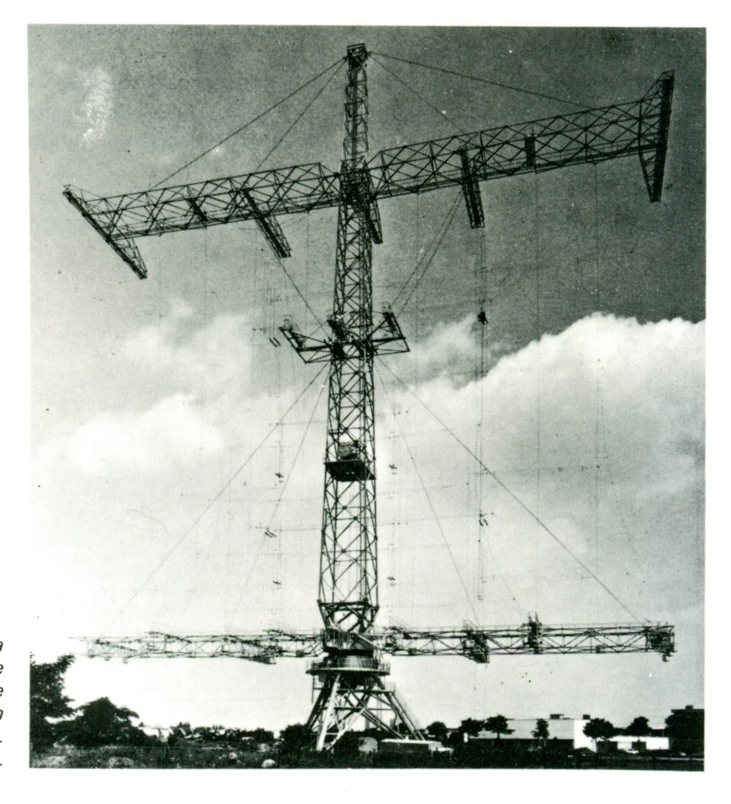
Michael Faraday, en 1830, concibió el principio del campo magnético y su representación mediante líneas de



Radar para el aeropuerto de Changi en Singapore, probándose en la factoría de su montaje definitivo.

fuerza. Según ésto, el hilo por el que circula corriente modifica las propiedades del espacio que lo rodea: el hilo crea un «campo» y la fuerza es ejercida por el campo.

James Maxwell, en la década de 1860, elaboró el análisis matemático que respaldaba las ideas de Faraday. En su libro «Electricidad y magnetismo», Maxwell completó la teoría del campo electromagnético dando las ecuaciones que lo describen.

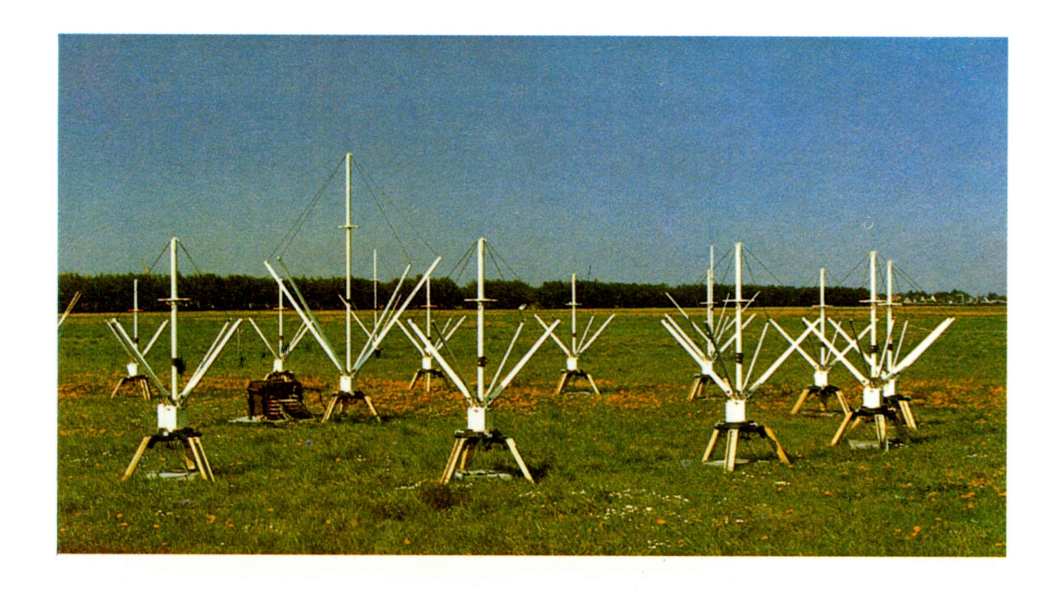


Antena para onda corta (6 a 26 MHz), capaz de radiar una potencia de 500 kW, situada en Kuwait. (Cortesía: Brown Boveri).

Para demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas previstas por la teoría de Maxwell, Heinrich Hertz, en 1888, construyó la primera antena.

El experimento se llevó a cabo utilizando un generador de

corriente alterna de alto voltaje que surgía primero por una bola metálica y luego por otra; entre ambas había una pequeña separación. Cuando el potencial entre las bolas alcanzaba su punto culminante en una u otra dirección,



saltaba una chispa a través del vacío. En estas condiciones, las ecuaciones de Maxwell predecían la aparición de una radiación. Para detectar esta radiación, Hertz utilizó como antena receptora un simple hilo metálico en forma de anillo con los extremos separados. Cuando se originaba una descarga en el primer dispositivo, otra más pequeña aparecía entre los extremos del receptor.

Radiogoniómetro de onda corta por efecto Doppler. Se trata de una estación compuesta por un conjunto de antenas.

Con este experimento se había demostrado la existencia de las ondas «hertzianas» (denominadas así en honor a Hertz) previstas por la teoría de Maxwell, y se había inventado la primera antena.

A partir de 1888 muchos otros científicos intentaron utilizar este fenómeno para transmitir mensajes. Fue Lodge, físico inglés, quien primero consiguió enviar mensajes en Morse hasta una distancia de 300 metros.

El italiano Marconi concibió una mejora en el sistema

emisor y receptor conectando a tierra un lado del generador y del receptor, y el otro a un alambre, al que se empezó a llamar antena poco después.

Con este sistema y generadores más potentes consiguió enviar señales a una distancia de 14,5 km en 1896, a través del Canal de la Mancha en 1898 y a través del Atlántico de 1901. Había nacido la «radiotelegrafía».



Antena de enlace vía satélite. Son parábolas de gran tamaño que utilizan como repetidores satélites geoestacionarios.

El primero que abandonó el sistema productor de chispas como generador fue el americano Fessenden, que además utilizó por primera vez la «modulación de amplitud». En la Nochebuena de 1906 los receptores radiofónicos captaron música y palabras.

PARAMETROS PRINCIPALES DE LAS ANTENAS

Cuando a una antena se le conecta un generador, en ella se inducen campos electromagnéticos capaces de alcanzar grandes distancias.

Una antena empieza a ser un buen radiador cuando su longitud es comparable a la longitud de onda de la señal que se desea radiar. Esto es, cuando el campo electromagnético

deja de tener la misma fase en todos los puntos. En una antena cualquiera sus parámetros característicos son los que a continuación van a tratar de forma suficientemente clara.

Resistencia de radiación

Debido a la radiación, en una antena existe una pérdida neta de la potencia a ella entregada. Esto se puede asimilar a una resistencia que se llama de radiación, R_r, y que se define como el valor de una resistencia en la que al circular la misma corriente que en la antena se disiparía la misma potencia.



Aspecto parcial que presenta una estación repetidora en el Reino Unido. Obsérvese el gran tamaño de la parábola.

Llamando P_r a la potencia de radiación e I al valor eficaz de la corriente en la antena, R_r vendría dada por la expresión:

$$R_r = \frac{P_r}{I^2} \qquad (1)$$

La resistencia de radiación, aun siendo pura, no provoca una transformación de energía eléctrica en térmica.

Resistencia de pérdidas

Junto a la potencia útil P_r, existe una cierta potencia que se pierde en el calentamiento de los conductores y los aisladores, en la tierra y en los objetos situados cerca de la antena. Como en el caso anterior, a esta pérdida neta de potencia se le podría asignar una resistencia de pérdidas R_p.

Si P_p es la potencia de pérdidas, R_p viene dada por la expresión:

$$R_p = \frac{P_p}{I^2} \qquad (2)$$

Resistencia total de una antena

La potencia total que se le suministra a una antena será igual a la suma de la de pérdidas más la de radiación:

$$P_T = P_r + P_p \qquad (3)$$

Por tanto la resistencia activa total de una antena R_r será:

$$R_T = \frac{P_T}{I^2} \qquad (4)$$

Eficiencia o rendimiento de una antena

La relación existente entre la potencia radiada y la potencia entregada a una antena se conoce con el nombre de eficiencia o rendimiento de la antena, η:

$$\eta = \frac{P_r}{P_T} \qquad (5)$$

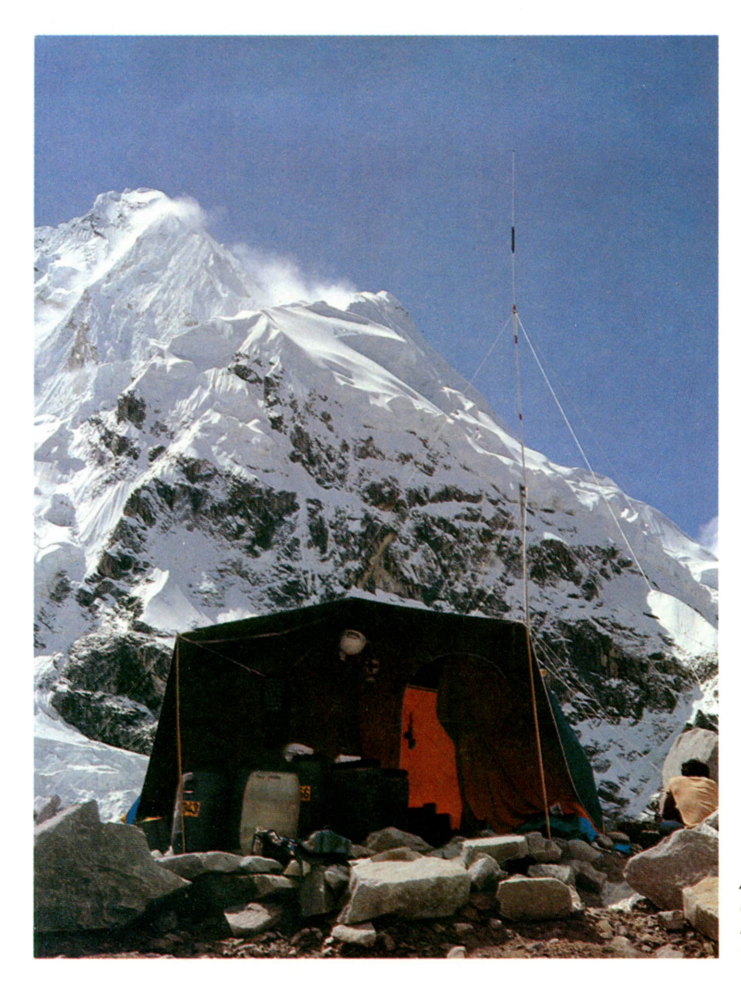
deseándose que η sea lo más próximo posible a la unidad.

Impedancia de entrada de una antena

En general, una antena dispone de dos terminales de

entrada definidos en los cuales se puede medir la relación tensión/corriente, por lo tanto la impedancia de entrada de la antena.

En general, esta impedancia dependerá de la frecuencia, estando formada por una componente activa R_e y una componente reactiva X_e. En esencia R_e se puede asimilar a la resistencia total de la antena en sus terminales de entrada, $R_r \cdot X_e$ es debido a la existencia de un campo eléctrico y otro magnético desplazados en fase (90º).



Antena improvisada en una expedición al Everest. La antena es del tipo vertical de HF.

Para aumentar el rendimiento de una antena a una frecuencia determinada se ajusta ésta de manera que X_e sea igual a cero, esto es, que la antena sea «resonante».

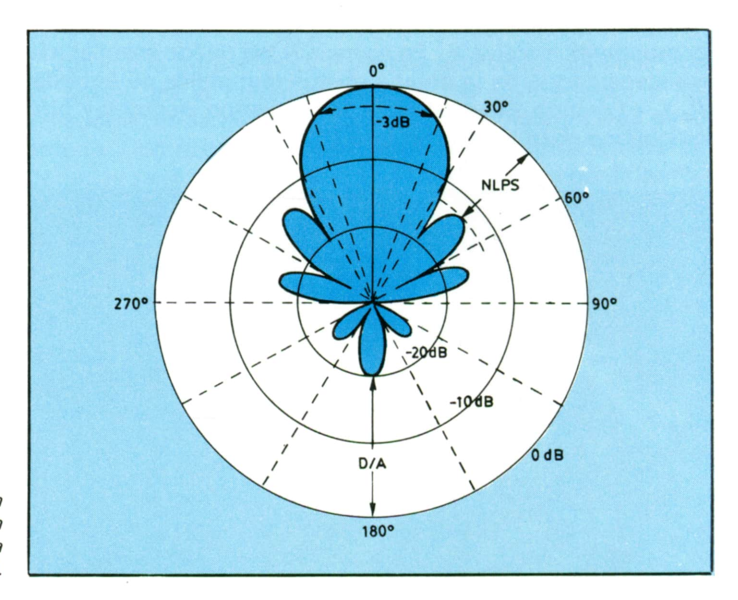


Figura 7. Ejemplo de un diagrama de radiación correspondiente a una antena Yagi.

Directividad de una antena

Las antenas en general radian de forma diferente en cada dirección del espacio. Una representación de su direccionalidad es el diagrama de radiación.

La construcción de dicho diagrama se hace en base a la posición de la antena y trazando a partir de ella un vector en cada dirección del espacio, cuyo módulo es proporcional a una magnitud eléctrica medida en esa dirección a una distancia constante. Las magnitudes eléctricas que se representan son el campo eléctrico E (voltios/metro) y la densidad de potencia radiada o flujo P (watios/metro^2) que atraviesa una superficie normal a ese radio vector.

La escala utilizada en este tipo de representaciones es el valor absoluto, normalizado respecto al valor máximo o en decibelios (20 log $E/E_{máx.}$ = 10 log $P/P_{máx.}$ dB). Para simplificar estos diagramas solos se suelen representar dos

planos: el horizontal y el vertical. En la figura 7 se puede ver un diagrama de radiación de una antena.

En el uso de antenas en general se tienen en cuenta los siguientes parámetros: la diferencia del nivel del lóbulo principal y del lóbulo secundario (NLPS), y la relación delante atrás (D/A) entre el haz principal y el lóbulo posterior.



Torre de telecomunicaciones de la British Telecom. Esta torre está situada en el centro de Londres y comprende sistemas de enlace por microondas y otros tipos de antenas direccionales.

Se llama *factor de directividad D* a la relación de la densidad del flujo de potencia emitido por la antena dada en una determinada dirección y la densidad del flujo de potencia que emitiría una antena omnidireccional en cualquier dirección, siendo iguales las potencias totales de radiación en ambas antenas y en el supuesto de que la medición se lleve a cabo a igual distancia de cada una de ellas:

$$D = \frac{P_{máx.}}{P_{med}} \qquad (6)$$

Ganancia de una antena

El parámetro que mejor caracteriza una antena es su ganancia *G*, que es una medida de su capacidad como radiador.

La forma más simple de definir la ganancia de una antena es comparando la densidad de potencia radiada (flujo de potencia o potencia por unidad de superficie) en la dirección de máxima radiación con el valor medio radiado en todas las direcciones del espacio, dándose en términos absolutos o dB.

Se llama antena isotrópica a aquella que radia por igual en todas las direcciones del espacio. Por tanto, según la anterior definición, su ganancia será de 1 o bien de 0 decibelios.

Utilizando el concepto de antena isotrópica, se puede definir ganancia como la relación entre la potencia o campo eléctrico que produce la antena y la que produciría una antena isotrópica que radiase la misma potencia.

Como la antena isotrópica es imposible de realizar, en la práctica se utiliza otra antena como patrón. Es frecuente que la que se adopta como patrón sea el dipolo en media onda.

Longitud efectiva

La onda presente en el espacio induce sobre la antena receptora corrientes y tensiones. Por tanto, se puede considerar a la antena receptora como un generador ideal de tensión *V*, con una impedancia interna que resulta ser igual a la de entrada definida en transmisión.

La relación entre *V* (tensión) y *E* (campo eléctrico) de la onda incidente viene dada por la fórmula:

$$V = E \times L_{ef} \qquad (7)$$

donde L_{ef} es el parámetro conocido por longitud eficaz de la antena.

Polarización de las ondas electromagnéticas

La onda electromagnética posee el campo eléctrico vibrando en el plano transversal a la dirección de propagación, pudiendo tener diversas orientaciones sobre el mismo.

Estas orientaciones se definen como la polarización de la onda.

Si un observador situado en un punto alejado de la antena pudiera visualizar el campo eléctrico lo vería o bien describiendo una elipse (en este caso se dice que la onda está polarizada elípticamente), o bien describiendo una circunferencia (polarización circular), o bien describiendo una recta (polarización lineal). En este último caso la recta que describe el campo eléctrico puede ser horizontal o vertical, hablándose entonces de polarización horizontal o polarización vertical.

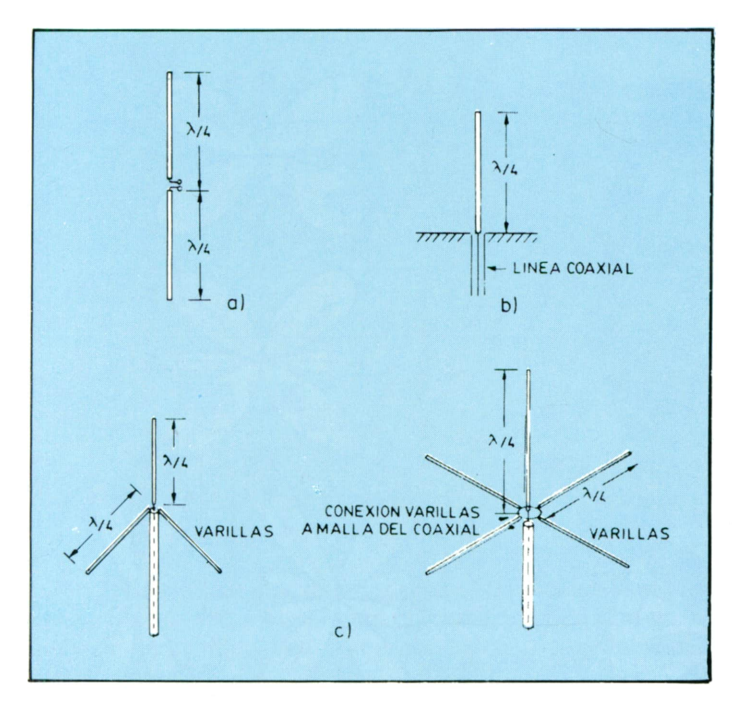


Figura 9. Configuraciones de dipolos y monopolos: a) dipolo de media onda; b) monopolo en λ/4; c) monopolos con planos de tierra realizados mediante varillas inclinadas transversales.

Para que una antena responda a una onda incidente tiene que tener la misma polarización que la onda. Así por ejemplo, un dipolo vertical responderá a una onda incidente si la polarización de la onda es vertical.

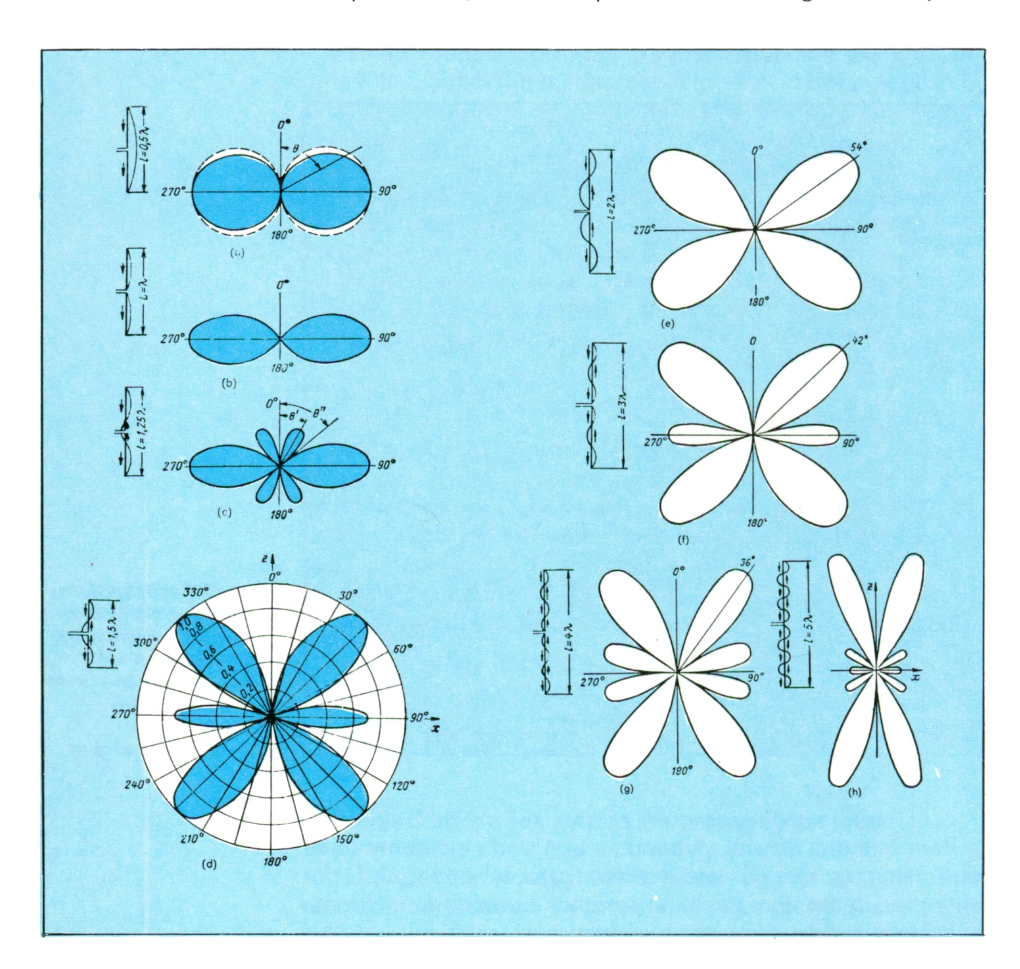
ANTENAS DIPOLO

Figura 10. Diagramas de radiación de un dipolo en el plano meridional de longitud: a) l=0,5 λ; b) l=λ; c) l=1,25 λ; d) l=1,50 λ; e) l=2 λ; f) l=3 λ; g) l=4 λ; h) l=5 λ.

Corresponde a antenas del tipo de la figura 9. En ellas se puede establecer lo siguiente.

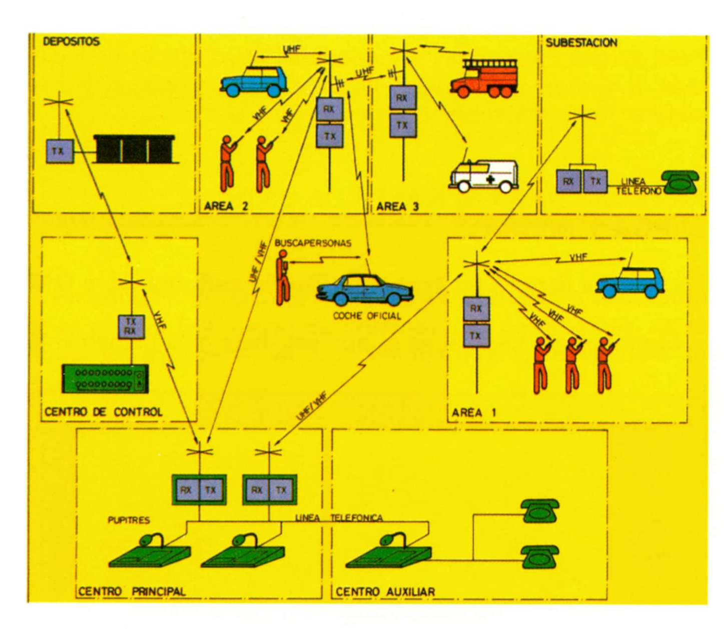
Sea cual sea su longitud no irradian en la dirección de sus ejes. Un aumento de la longitud del dipolo se hace igual a un múltiplo entero de la longitud de onda de la señal que está emitiendo, desaparece totalmente la radiación en el plano ecuatorial.

Y por último, a medida que aumenta la longitud del dipolo,



la dirección del máximo del lóbulo principal va alejándose del plano ecuatorial y acercándose cada vez más al eje del dipolo.

La alimentación general de este tipo de antenas se hace en su centro a través de un cable coaxial, pero aprovechando el plano de tierra que ejerce un efecto de «imagen» de las cargas eléctricas, la longitud del dipolo se reduce a la mitad y se le alimenta entre el brazo que queda y tierra, llamándose entonces *monopolo.*



Ejemplos de utilización de las radiocomunicaciones dentro de las bandas de VHF y UHF. Entre estos casos se observa la posibilidad de comunicación telefónica sin hilos, los buscapersonas y la importancia de los centros repetidores. (Cortesía: Teltronic, S.A.).

En los casos en que el monopolo deba elevarse sobre el suelo, se pueden crear planos de tierra ficticios con varias varillas perpendiculares al monopolo o inclinadas hacia tierra (figura 9).

Las aplicaciones multibanda de los dipolos o monopolos no pueden llevarse a cabo fácilmente, salvo que se diseñen estructuras especiales. Una manera de resolver este problema es introduciendo en el dipolo conmutadores, que acortan convenientemente la longitud del mismo (o en el monopolo) para adaptarlo a las frecuencias que se desean emitir. El

conmutador se puede realizar introduciendo en el dipolo (o monopolo) trampas LC.

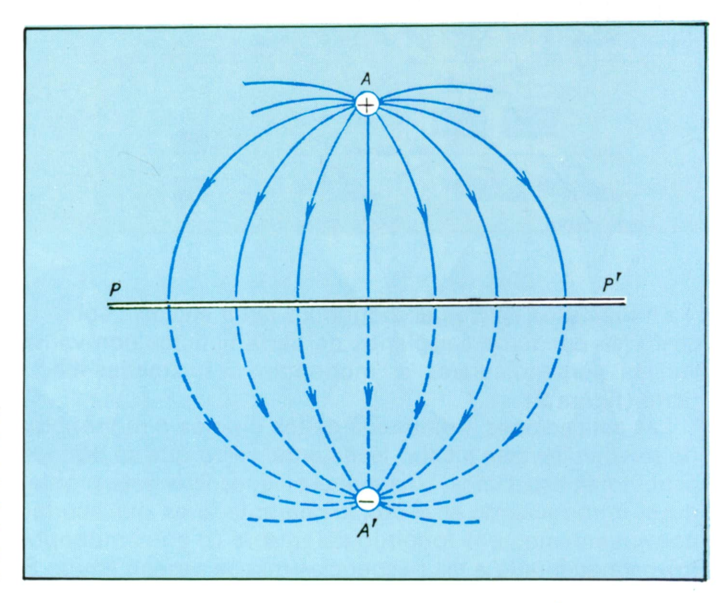
La red LC se comporta como un cortocircuito a la frecuencia f_1, con lo cual la longitud del dipolo (o monopolo) es la total. A la frecuencia de f_2 el circuito LC aisla las partes extremas de la antena, dejando reducida la longitud de la misma al tramo central l_2.

Las antenas dipolo se comportan como una carga reactiva que en función de su longitud es de tipo capacitivo ($l \leqslant 0,5\ \lambda$), inductivo ($l > 0,5\ \lambda$) y así sucesivamente, lo cual obliga a compensarlas. Esto se realiza introduciendo en su base cargas capacitivas e inductivas, cuyo efecto es hacer más uniformes las corrientes en la antena provocando «un alargamiento eléctrico» de la misma.

ANTENAS PARA SEÑALES DE ONDA LARGA Y MEDIA

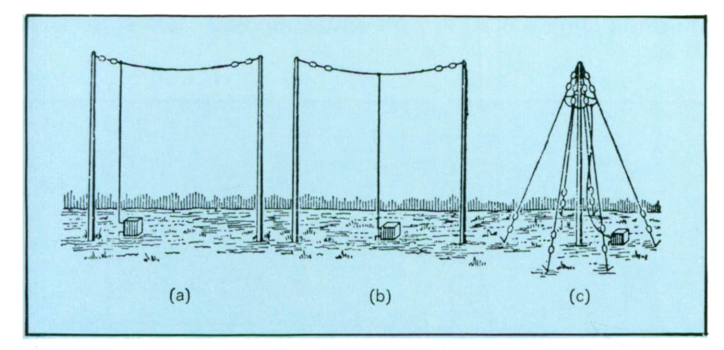
La antena dipolo en transmisión de señales OL y OM

El monopolo vertical es el que satisface más plenamente



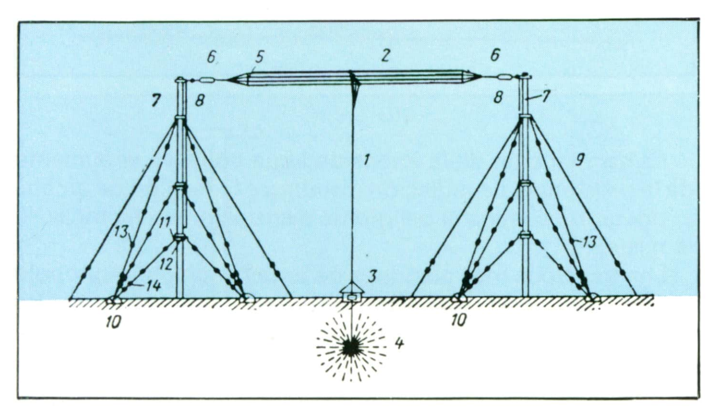
Si la línea P – P' es el plano de tierra, ésta se comporta, idealmente, como un «espejo» de la carga positiva situada sobre ella, creando su imagen una carga negativa a igual distancia.

las exigencias de la propagación de las ondas largas (OL), debido a que las ondas de este monopolo están polarizadas verticalmente y el máximo de su radiación coincide con la superficie de la tierra o bien se eleva un pequeño ángulo.



Varios modelos de antenas empleadas en comunicaciones.
a) Tipo L;
b) Tipo T;
c) Tipo sombrilla.

En onda corta (OC) la resistencia de radiación del dipolo es muy baja (del orden de ohmios) y la de pérdidas, en el mejor de los casos, es algo menor que 1, resultando un

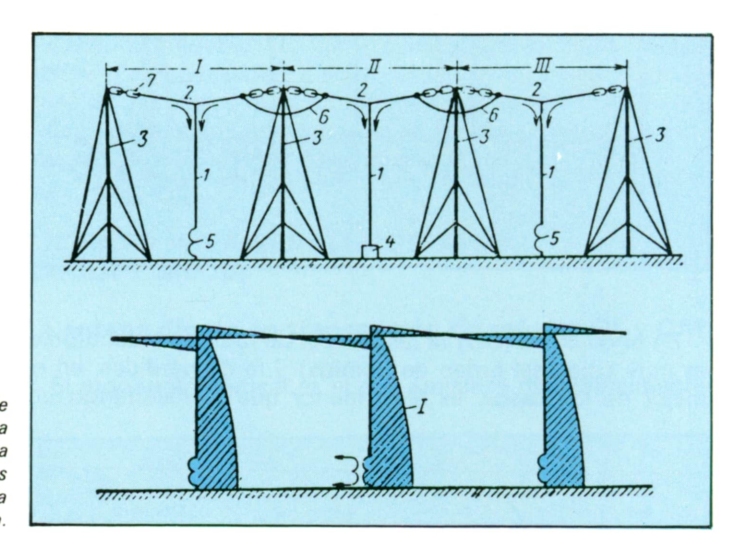


Antena transmisora alámbrica en T, empleada en algunos casos por las emisoras comerciales.

rendimiento muy bajo. Si la resistencia de radiación es pequeña se necesitan altas intensidades para obtener una potencia de radiación dada, originándose también un

amortiguamiento en la onda y como la frecuencia portadora es baja resulta en una banda pasante estrecha.

Un aumento de la resistencia de radiación se consigue completando el dipolo vertical con conductores horizontales o inclinados que provocan un efecto altamente capacitativo con la tierra, con esto se consigue aumentar un rendimiento en onda larga del 30 % y en ondas medias hasta el 80 %.



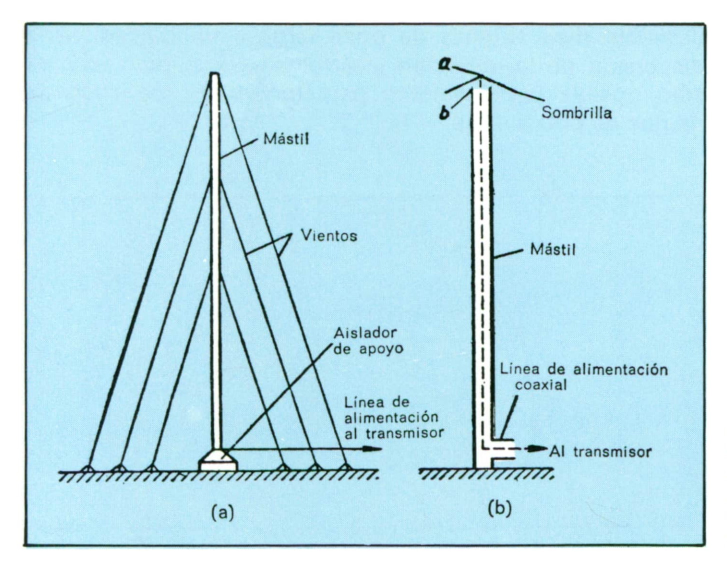
Antena de la estación de Moscú de 500 kW. En la parte inferior se representa la distribución de las corrientes en toda la sección de la misma.

La disminución de la intensidad que conlleva el aumento de la resistencia de radiación disminuye la tensión de antena y, por tanto, elimina el peligro de disrrupciones eléctricas en la misma.

Los tres tipos más comunes de antenas dipolo/monopolo vertical con conductores horizontales o inclinados son las del tipo *L*, tipo *T*, y de sombrilla

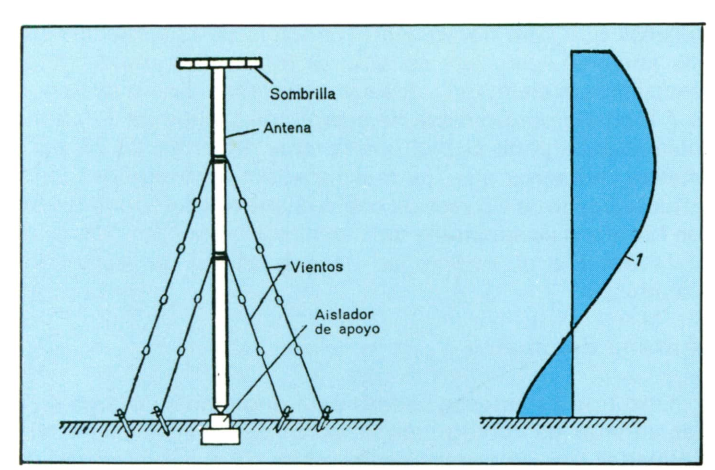
Antenas antidesvanecimiento

En la radiodifusión no se requiere directividad de la antena en el plano horizontal, pero sí es necesario eliminar el desvanecimiento próximo de las señales, que se manifiesta especialmente allí donde las ondas espaciales y superficiales



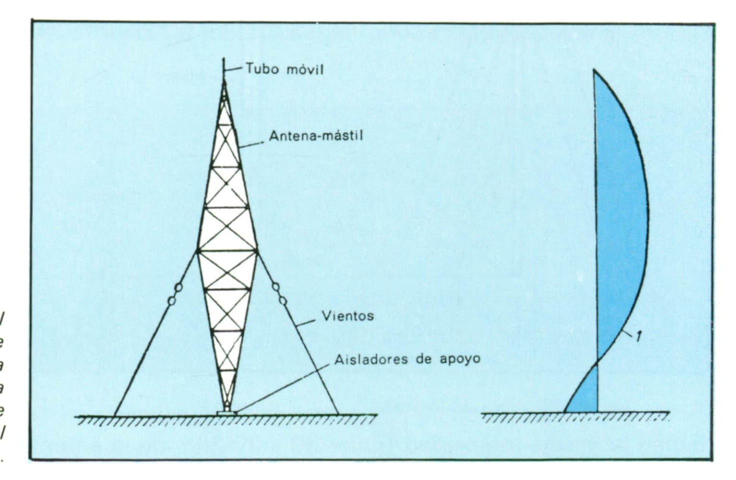
Excitación de las antenas mástil, a base de un circuito de alimentación inferior a), y de un circuito de alimentación superior b).

tienen la misma intensidad (entre 30 y 200 km de la antena receptora). A esta zona llegan las ondas espaciales según un ángulo de 55 a 75º. Por lo tanto, una antena antidesvanecimient será aquella que no emita en un ángulo que sea superior a 55º. Este mismo diagrama de directividad sería



Antena mástil antidesvanecimiento de sección constante. A la derecha se observa la distribución de corrientes.

deseable para antenas de onda larga a fin de reducir la dispersión de la radiación electromagnética, pero esto es sólo posible prácticamente para longitudes de onda de menos de 600 metros.



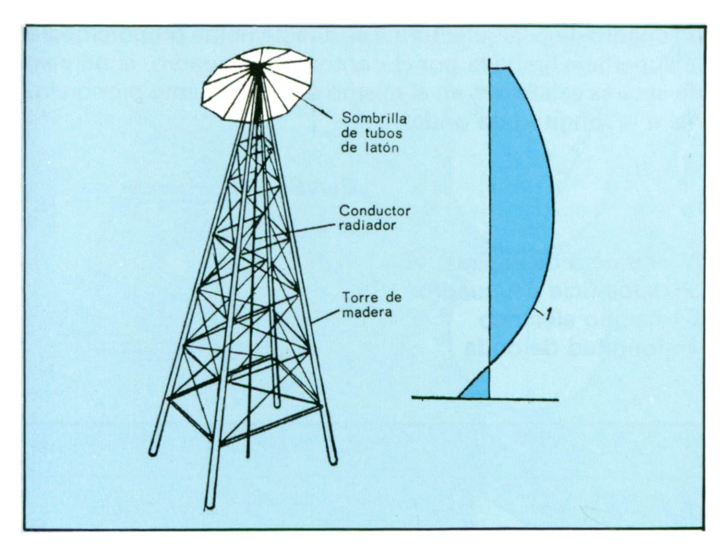
Antena mástil antidesvanecimiento de sección variable. La distribución de la corriente en la antena se observa a la derecha del dibujo.

El dipolo

Para la recepción de las ondas larga y media se utilizan las mismas que para transmisión (principio de reciprocidad de las antenas), pero sus estructuras pueden ser mucho más sencillas. Un ejemplo podría ser una antena dipolo de tipo *L* o *T* formada por un cable de acero o de bronce de 3 mm de diámetro. La parte central podría tener del orden de 25 a 50 metros, mientras que los mástiles de apoyo tendrían una altura superior a 15 metros sobre el suelo. Los conductores de la antena se separarán del mástil por medio de aisladores y la entrada al edificio se hace a través de aisladores cerámicos.

Antena de cuadro

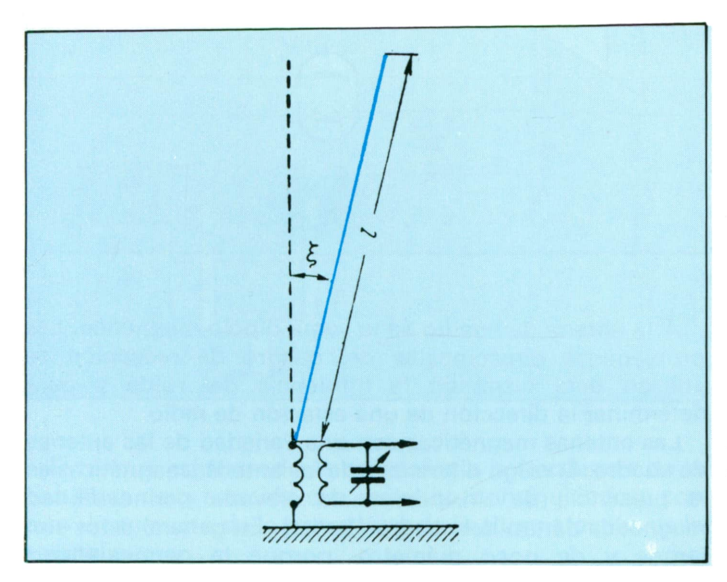
Otro tipo de antenas usadas para onda media y larga son las antenas de cuadro, que en su forma más sencilla están formadas por un arrollamiento plano de alambre en forma



Antena-torre preparada para evitar en lo posible el desvanecimiento de la señal.

rectangular. Esta antena posee propiedades direccionales en el plano horizontal.

En ella se verifica que la fuerza electromotriz inducida en

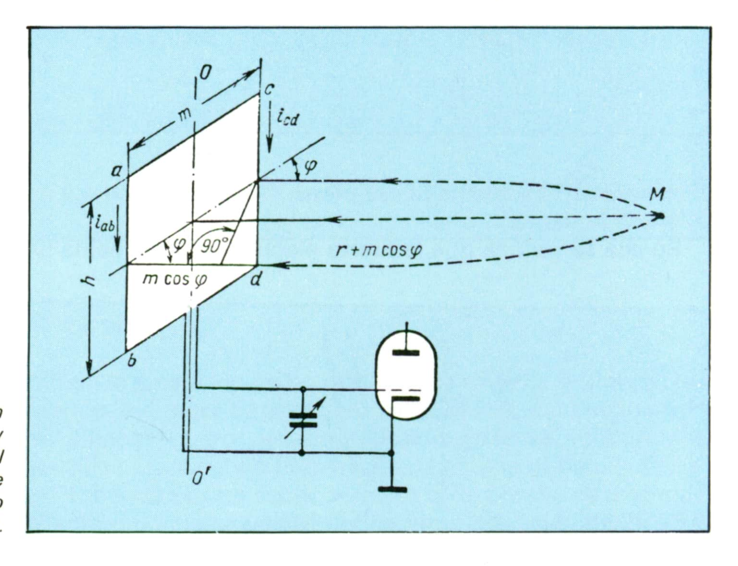


Antena que emplea la posibilidad de un conductor radial inclinado, para modificar con ello la longitud de onda de la misma.

un cuadro de cualquier forma es directamente proporcional a la superficie limitada por el contorno del cuadro, al número de espiras existentes en el mismo e inversamente proporcional a la longitud de onda:

$$\varepsilon = E \frac{2\pi NS}{\lambda} \qquad (8)$$

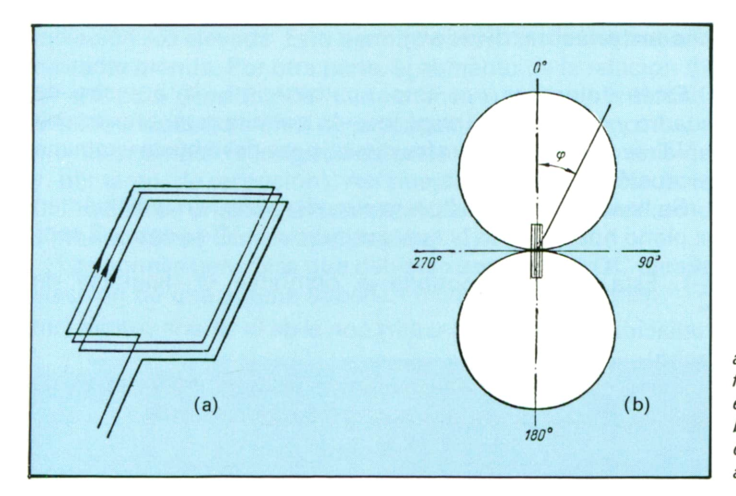
N = número de espiras
S = superficie del cuadro
E = campo eléctrico
λ = longitud de onda



Esquema de una conexión de antena de cuadro muy sencilla. Se observa el acoplo con la válvula de potencia del equipo transmisor.

A la antena de cuadro se le llama dipolo magnético. Las propiedades direccionales del cuadro de recepción se utilizan para disminuir la influencia del ruido y para determinar la dirección de una estación de radio.

Las antenas magnéticas son una variedad de las antenas de cuadro. El rasgo diferencial de las antenas magnéticas es la presencia de un núcleo de elevada permeabilidad magnética dentro del cuadro (ferrita). En general estos son largos y de poco diámetro, porque la permeabilidad



a) Cuadro de antena formado por varias espiras;
b) Diagrama de directividad de una antena de cuadro.

magnética disminuye bajo la acción desmagnetizante de los polos que se manifiesta con mayor fuerza cuanto mayor sea la sección transversal de la barra y menor su longitud. En este tipo de antenas los devanados L_1 y L_2 se conectan al circuito como inductoras al circuito de entrada L_1, L_2 y C. (figura 23).

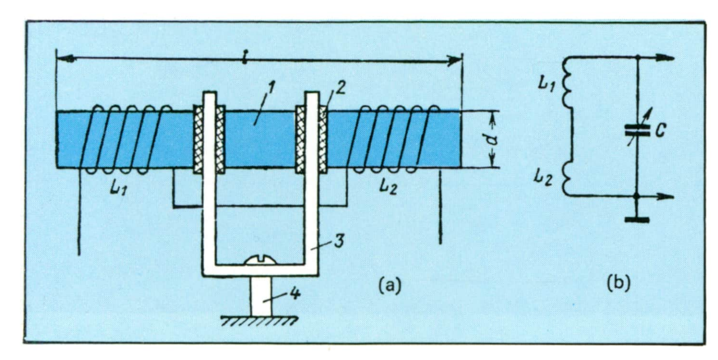


Figura 23. Antena magnética y esquema de su conexión al circuito de entrada del receptor:
1 = la barra de ferrita del devanado;
2 = amortiguador de goma;
3 = abrazadera y
4 = soporte de fijación al chasis del receptor.

El tanque así formado es resonante a la frecuencia de la portadora de la estación que se recibe, consiguiéndose con esto un aumento de la ganancia y de la altura efectiva de la antena.

Las antenas cardioides

Están formadas por una combinación de antenas de cuadro y vertical. Esta combinación permite crear una antena unidireccional, en la que las direcciones de máxima y mínima recepción son opuestas.

Se llaman cardioides porque su diagrama de radiación en el plano horizontal es la curva «cardioide» ($1 + \cos\varphi = 2\,\text{sen}^2 \frac{\varphi}{2}$). Esta curva se obtiene al combinar el diagrama de radiación del dipolo (circular) con el de la antena cuadro (un ocho).

La primera utilización que viene a la imaginación para este tipo de antenas es la de localización de emisoras.

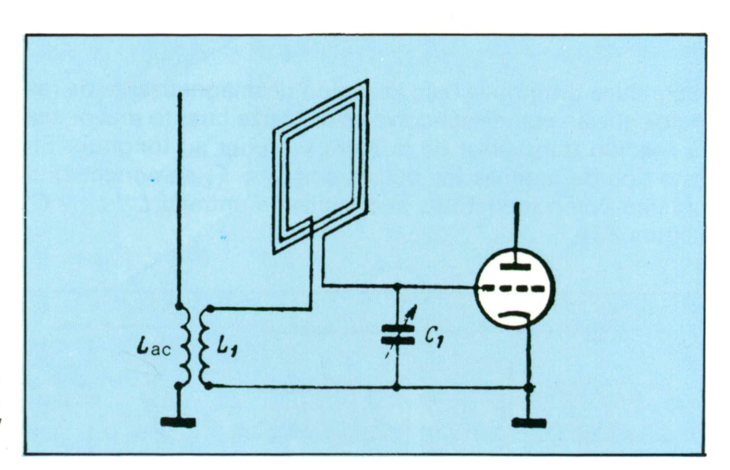


Figura 24. Antena cardioide acoplada a un circuito de válvulas del receptor.

En la figura 24 puede verse una antena cardioide junto con el circuito de entrada, a válvulas, del receptor.

ANTENAS PARA ONDA CORTA

Por una norma general, en onda corta se puede conseguir que la relación entre la longitud de la antena y la longitud de onda sea lo bastante grande como para que la resistencia de

radiación sea elevada. Esto permite que la banda de paso sea bastante grande. Por otra parte, el aumento de la relación l/λ en el dipolo ocasiona un fuerte aumento de la directividad. Debido a las condiciones de propagación es necesario muy a menudo cambiar la longitud de onda de trabajo (de emisión y, por tanto, de recepción). Así pues, no será conveniente la utilización de antenas sintonizadas. Este tipo de antenas no sintonizadas se llaman aperiódicas.

Las normas generales que debieran seguirse en OC para la elección de una antena deberían incluir las siguientes:



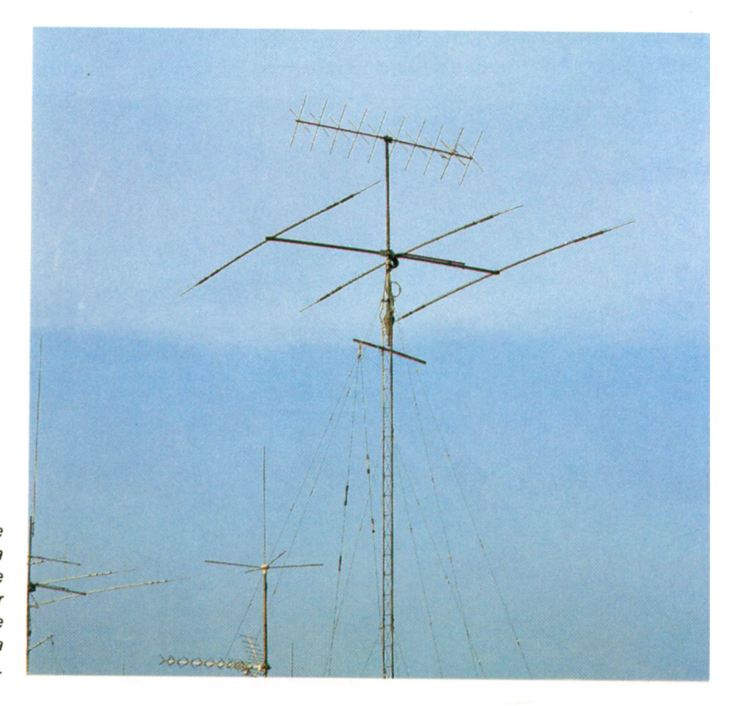
Antena de tipo vertical, adaptable a vehículos, que permite comunicaciones móviles, directamente o por vía repetidor.

— En OC es muy grande la posibilidad de interferencias de onda recibidas de distintas direcciones, por ello será conveniente la reducción al mínimo de los lóbulos laterales y posteriores del diagrama de radiación de la antena.

El ángulo de la elevación del haz en la dirección de

máxima radiación ha de ser elegido de manera que la comunicación entre dos puntos se realice con el mínimo posible de reflexiones en la ionosfera, pues cada una de ellas va acompañada por pérdidas de energía.

— La direccionalidad de la antena tampoco puede ser excesiva, puesto que de lo contrario la estabilidad de la ionosfera podría desplazar la onda emitida de forma que la antena receptora no captara nada.



En la parte superior se observa una antena directiva para la banda de VHF y en la parte inferior una antena directiva de tres elementos para bandas decamétricas.

— La facilidad con que la OC capta ruidos industriales obliga a que el máximo del diagrama de radiación de la antena receptora esté por encima de la superficie terrestre. Desde este punto de vista es preferible utilizar dipolos horizontales y no verticales.

El dipolo simétrico y el monopolo

El monopolo es una de las antenas que no poseen

direccionalidad en el plano horizontal, pero sí dispone de una pequeña directividad vertical. Si la tierra fuera un conductor perfecto la dirección de máxima radiación correspondería a la línea de tierra, pero como no es un conductor perfecto se traduce en una pequeña elevación. En estas condiciones sólo se puede garantizar la transmisión a pequeñas distancias.

La adaptación del monopolo a la alimentación es bastante difícil para toda la banda de ondas de trabajo, por ello se hace imprescindible reducir su impedancia característica.

En la figura 27 puede verse un dipolo vertical con la impedancia característica reducida. Está formada por conductores verticales dispuestos según las generatrices de un cilindro. En la base se unen todos ellos y se conecta a la línea de alimentación.

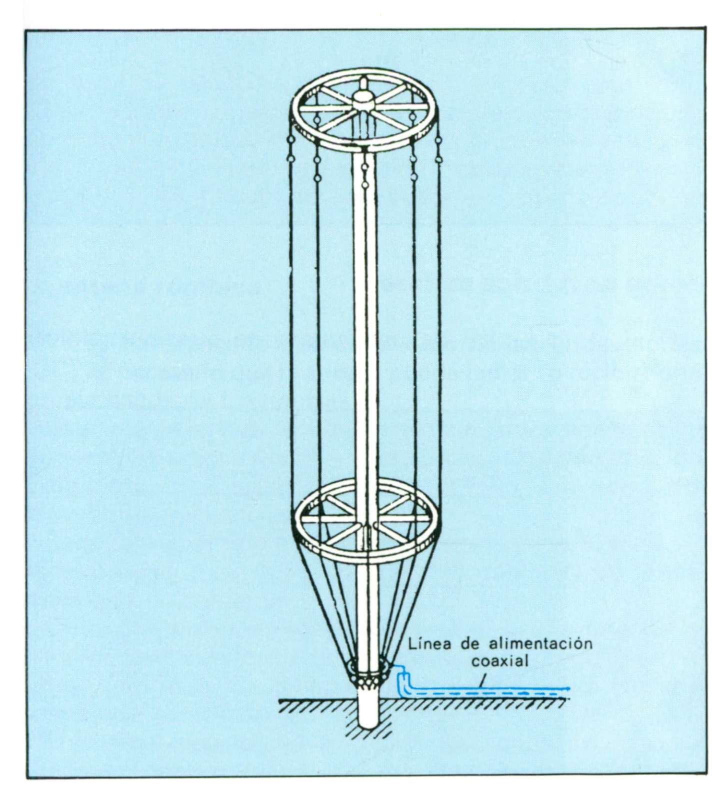


Figura 27. Dipolo de impedancia reducida en donde se observa que la alimentación se realiza mediante cable coaxial apantallado y de bajas pérdidas.

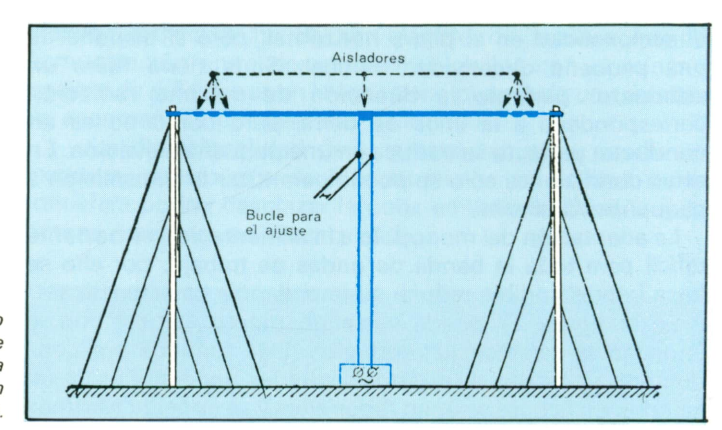


Figura 28. Dipolo horizontal, en donde se destaca la propia antena de las torres que le sirven como soporte.

El dipolo simétrico se utiliza en OC colocado horizontalmente sobre el plano de tierra.

En este caso ya no basta con adaptar la línea de alimentación a la antena. Hay que conseguir además que su diagrama de radiación permanezca inalterable en la gama de frecuencias de trabajo. Teniendo en cuenta la figura 10 este debe tener una longitud mayor que 1,25 λ (figura 28).

Redes de dipolos en fase

El efecto directivo de una antena se puede amplificar

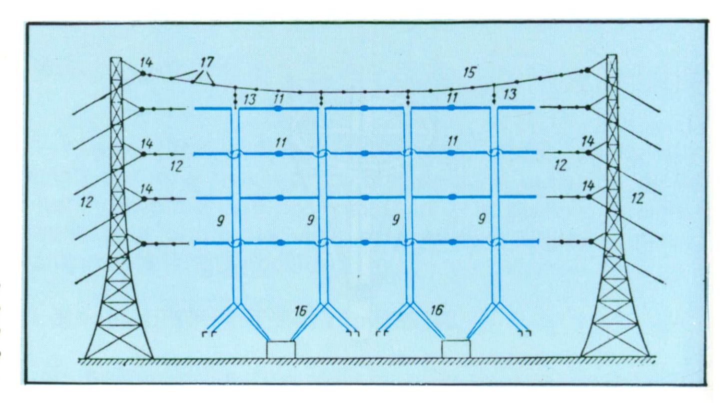
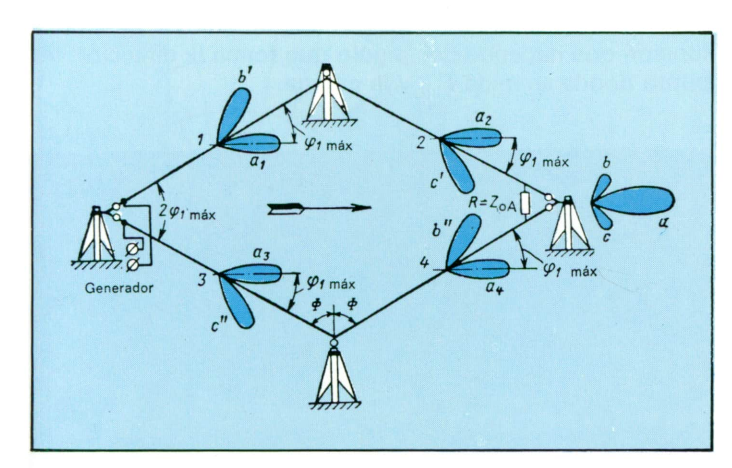


Figura 29. Fijación de la tira de dipolos de una antena en donde se da una coincidencia de fase horizontal.

considerablemente pasando de un solo radiador a un sistema de radiadores del mismo tipo. Para ello sólo es necesario que su distribución espacial refuerce la radiación en la dirección deseada. Con esto se consigue, además, aumentar la ganancia de la antena. En la figura 29 puede verse una red de antenas dipolo en coincidencia de fase horizontal.



Esquema básico de una antena rómbica en donde se puede ver la distribución de los lóbulos de radiación.

La antena rómbica

Ya se ha explicado que en el caso de las ondas cortas (OC) es necesario que la antena pueda radiar (o recibir) una amplia banda de frecuencias.

Esto obliga a que la antena se encuentre adaptada al generador en dicha banda y que su diagrama de radiación permanezca esencialmente constante en esa zona del espectro de frecuencias.

Para conseguir con antenas rómbicas estos requisitos se hace preciso que éstas trabajen en régimen de onda progresiva de corriente.

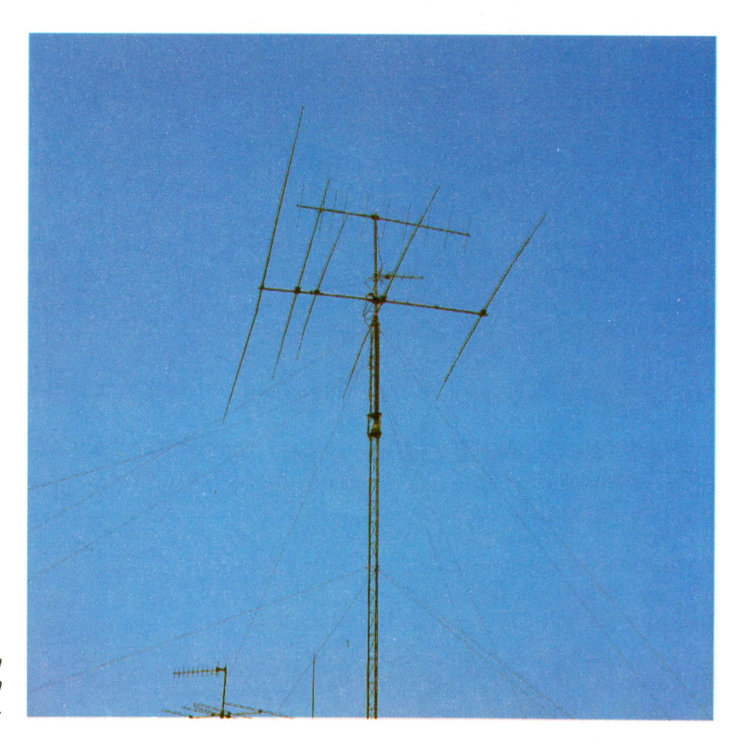
Onda progresiva de corriente significa que la fase de la señal va desplazándose a medida que la onda progresa por el cable que hace de antena, pero su amplitud máxima permanece constante.

El campo instantáneo en cualquier punto del espacio generado por un hilo conductor que hace de antena,

trabajando en régimen de onda progresiva de corriente, viene dado por la expresión:

$$E_{ins}=\frac{60\,I_m}{r}\ \text{sen}\ (wt-\beta r)\cdot f(\varphi) \qquad (9)$$

donde $\beta=\frac{2\pi}{\lambda}$, r es la distancia al punto en cuestión, I_m es la intensidad máxima de corriente en la antena y $f(\varphi)$ es una función que depende del ángulo que forma la dirección del punto donde se mide E_{ins} y la antena.



Antena típica multibanda de HF para una estación de radioaficionado.

Si se analiza $f(\varphi)$ se ve que si $\varphi=0$ (dirección de la antena) entonces $E_{ins}=0$, por lo que se deduce que este tipo de antena no radia en su propia dirección.

La figura 32 nos muestra los diagramas típicos de

radiación de un hilo conductor, funcionando como antena en régimen de onda progresiva de corriente. Lo primero que salta a la vista es que la dirección de máxima radiación forma con el conductor (o antena) un ángulo que va disminuyen-

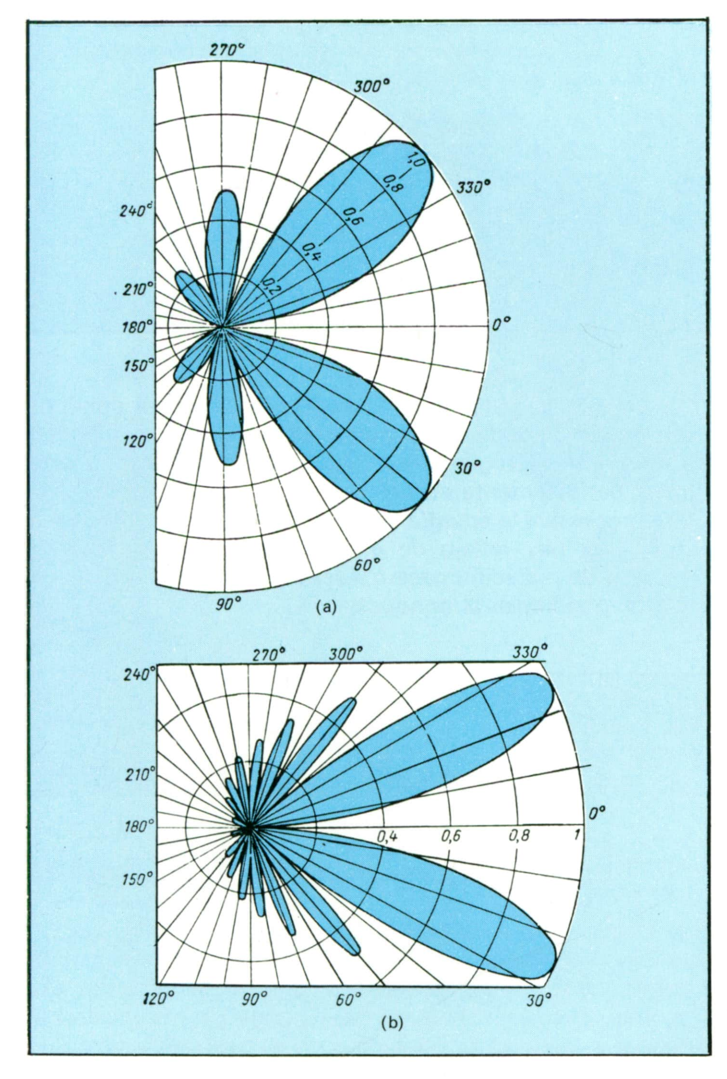


Figura 32. Diagramas de radiación de un conductor con corriente de onda progresiva, siendo la longitud del conductor: a) l=1,5; b) l=1.

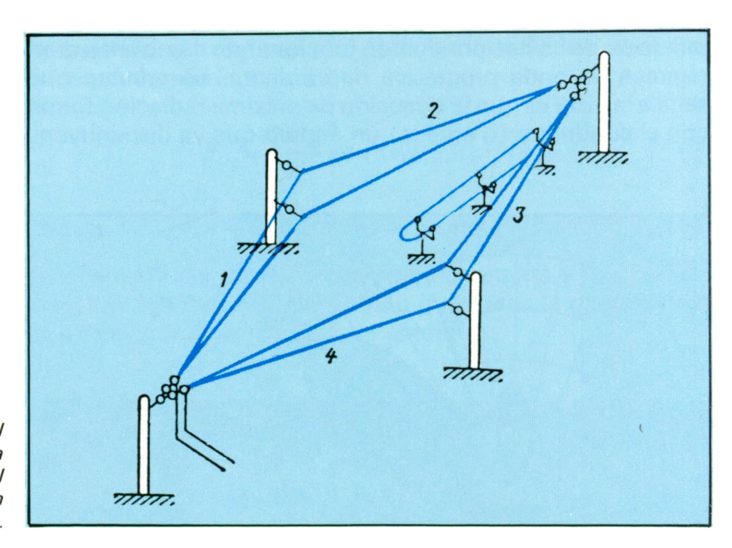


Figura 33. Ejecución del montaje de una antena rómbica sencilla. El generador se aplica a un extremo.

do a medida que aumenta la relación longitud del conductor/longitud de onda, y lo segundo es que su direccionalidad es inherente al régimen de funcionamiento. Esto último encaja perfectamente con el hecho de que en régimen de onda progresiva la energía se mueve sólo del generador a la carga, y si hay reflejo de energía se traduce en que el diagrama de radiación pasará a ser simétrico respecto a una línea perpendicular al conductor.

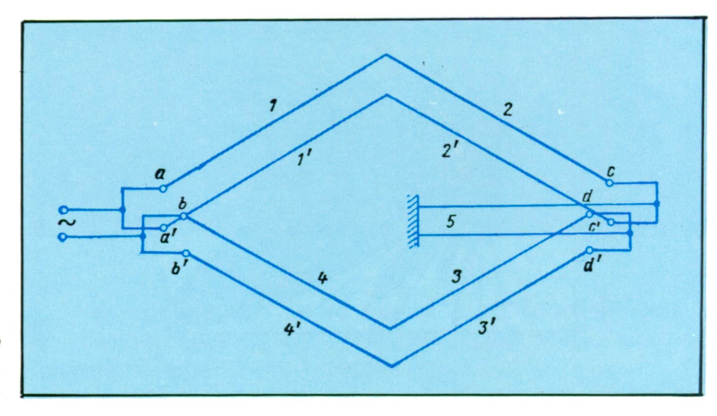
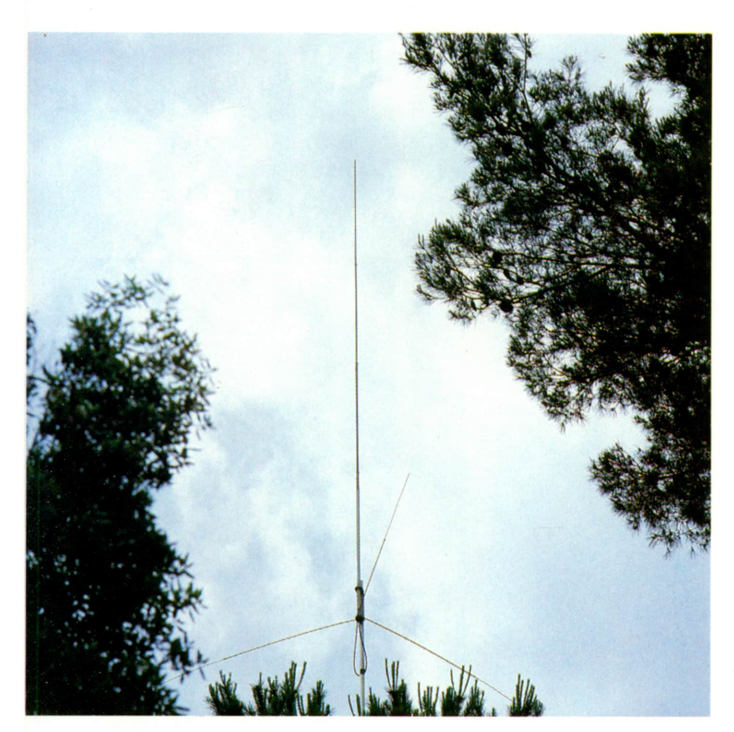


Figura 34. Antena rómbica doble de G.Z. Eisenberg.

En la antena rómbica se aprovechan estas particularidades del conductor radiante funcionando en régimen de onda progresiva. Se escoge el ángulo entre los lados del rombo, de forma que en el extremo emisor se sumen los efectos de los dos lóbulos y éste se carga con la impedancia característica (unos 600 Ω) para evitar el reflejo indeseable de energía.

En las figuras 33 y 34 se pueden apreciar diversas configuraciones de antenas rómbicas reales.



Antena vertical para radioaficionados, del tipo HF con radiales.

ANTENAS DE ONDA ULTRACORTA

La mejora de la calidad de la información transmitida está en relación directa con la cantidad de elementos constitutivos de esa información que se transmiten. Por tanto, mejorar la transmisión significa enviar mayores anchos de banda, o sea, mayor cantidad de detalles. Pero un aumento del ancho

de banda modulado requiere tomar como portadora frecuencias cada vez mayores. Así se llegó a la gama de ondas ultracortas.

Esta escalada en el espectro trajo otra ventaja suplementaria: la gran directividad que poseen estas ondas.

Las antenas para la gama de UHF dependen fundamentalmente de qué clase de información sea la que se quiere transmitir o recibir. Así, por ejemplo, una antena para TV deberá garantizar una banda pasante muy elevada, ya que el ancho de banda de la señal de TV es de 6 MHz. En el caso de la radiodifusión en FM (entre 88 y 108 MHz) será necesario, sobre todo, que la antena sea omnidireccional para que pueda ser captada por el mayor número posible de radioyentes, mientras que su ancho de banda no tiene que ser excesivamente grande si se compara con el necesario para TV.

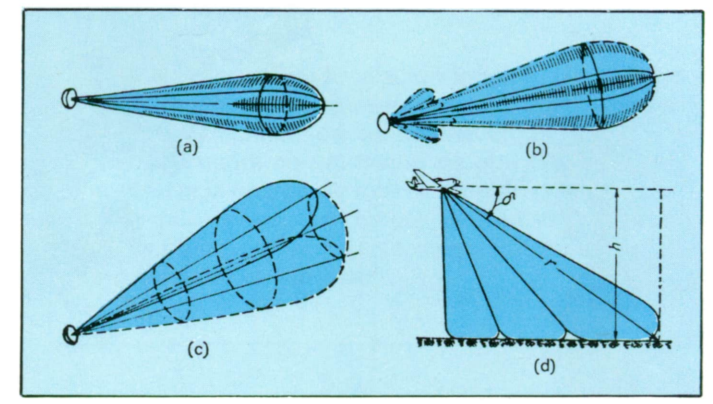
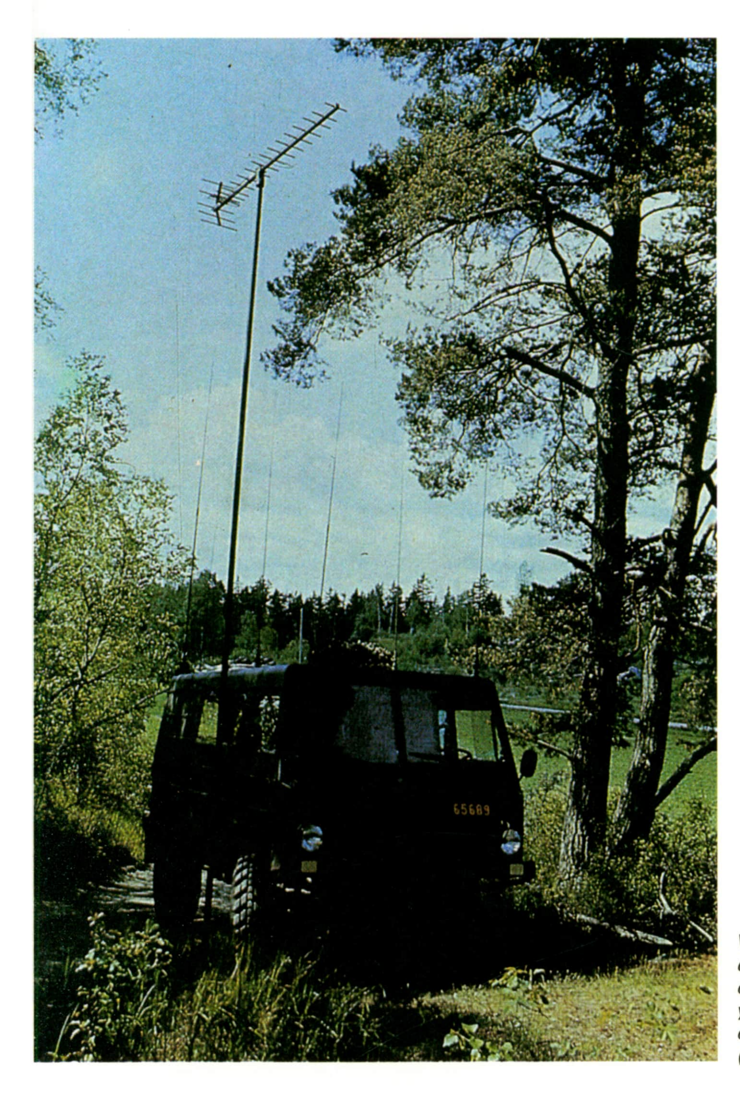


Figura 36. Diagramas de directividad de las antenas de UHF: a) del tipo aguja; b) Cónica; c) En abanico; d) Cosecante al cuadrado.

Según la disposición de los elementos radiantes, las antenas para UHF se dividen en lineales y de ondas superficiales. Las primeras son del tipo dipolo en media onda, y las segundas corresponden a antenas en las que la recepción y la transmisión se lleva a cabo en grandes superficies recorridas por corrientes de microondas.

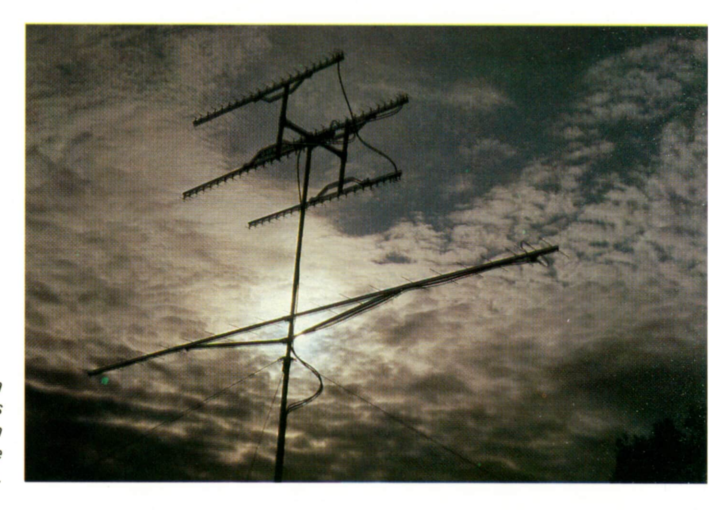
Como para estas señales la longitud de onda está comprendida entre centímetros y milímetros, son fácilmente realizables las antenas mucho mayores que la longitud de onda. Esto implica poder utilizar métodos ópticos en la

recepción y en la transmisión, lo que dota a la antena de un diagrama de radiación altamente directivo. Una utilización práctica de esta ventaja es la radiolocalización. En la figura 36 pueden verse diversos diagramas de directividad de antenas utilizadas para la radiolocalización.



Vehículo militar de comunicaciones, dotado de siete antenas verticales y una antena del tipo directivo de VHF. (Cortesía: Amper, S.A.)

Por último, estas antenas aun disfrutan de una ventaja más: debido a su gran directividad y al tener que ser suspendidas a gran altura sobre la tierra, la radiación no se lleva a cabo sobre ella, evitándose así una gran fuente de pérdidas.



Antenas destinadas a trabajar con frecuencias muy altas, y de aplicación en la banda de radioaficionados.

El dipolo simple

Al ser λ (longitud de onda) pequeña, el dipolo será también pequeño. Generalmente se fabrica en forma de cilindro metálico macizo o hueco, con un diámetro lo suficientemente grande como para que su curva de resonancia no sea muy aguda y admita un ancho de banda lo suficientemente amplio.

El problema se presenta a la hora de fijar y de alimentar este tipo de antenas. Si la alimentación se lleva a cabo por un punto donde la intensidad es máxima (antinodo de corriente) mediante una línea bifiliar (cuya impedancia característica es de 300 Ω) se produce una profunda desadaptación, ya que en dicho punto la impedancia de entrada del dipolo en media onda es de 73,1 Ω. Si se intenta por un punto donde la tensión es máxima (antinodo de tensión) también se produce desadaptación, ya que aquí la impedancia de entrada está comprendida entre 10 y 14 kΩ. En ambos casos,

pues, se producen ondas estacionarias, lo cual obliga a la utilización de adaptadores.

Una forma de disminuir la relación de onda estacionaria (aumentar la adaptación) de los dipolos consiste en utilizar una conexión paralelo (shunt) de dos dipolos, que se denomina dipolo doblado. De esta forma se logra que la impedancia de entrada tome el valor de 293,4 Ω, lo que permite una conexión aceptable con líneas de alimentación bifiliares por el antinodo de corriente.



De entre el bosque de antenas de TV (UHF-VHF) sobresale una antena directiva de HF para la banda de la radioafición.

Si la antena se encuentra a una gran distancia del transmisor o del receptor, es preferible alimentarla a través de un cable coaxial cuya impedancia característica es de 75 Ω. Esto hace que la adaptación en cuanto a impedancias sea relativamente fácil. Pero el coaxial no es una línea de transmisión simétrica, lo que origina otro tipo de problemas.

En efecto, si se conecta un brazo del dipolo directamente a la malla externa del coaxial, al haber un circuito a tierra por el exterior del cable puede circular una corriente que sólo puede ser sustraída del brazo del dipolo, lo cual se traducirá en una distorsión del diagrama de radiación.

Este hecho obliga a utilizar simetrizadores cuando se alimenta un dipolo con cable coaxial.

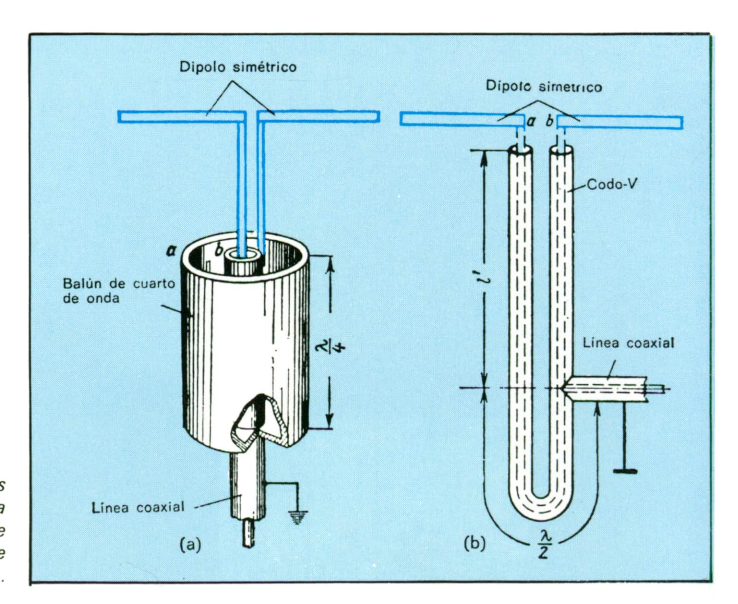


Figura 40. Dispositivos simetrizadores en forma de balun de cuarto de onda en la figura a), y de ángulo U en b).

En la figura 40 pueden observarse dos sistemas para conseguir la simetría. En el primer esquema (*a*) se utiliza un balún de longitud $\lambda/4$ que cubre la línea coaxial. El fondo se conecta al conductor externo del cable que va a tierra. Esto produce una línea cortocircuitada de cuarto de onda con impedancia de entrada muy elevada entre los puntos *a* y *b*, lo que evita que la corriente que pasa por el interior de la línea se ramifique a la capa externa.

En el esquema (*b*) se ha añadido un trozo de coaxial de longitud $\lambda/2$, con lo que se obtiene entre *a* y *b* una polaridad inversa del dipolo y simetría total de la tensión de salida con relación a tierra.

Este procedimiento es muy utilizado en las antenas de TV. En la figura 41 se examinan dos tipos de conexión específicos para antenas de TV.

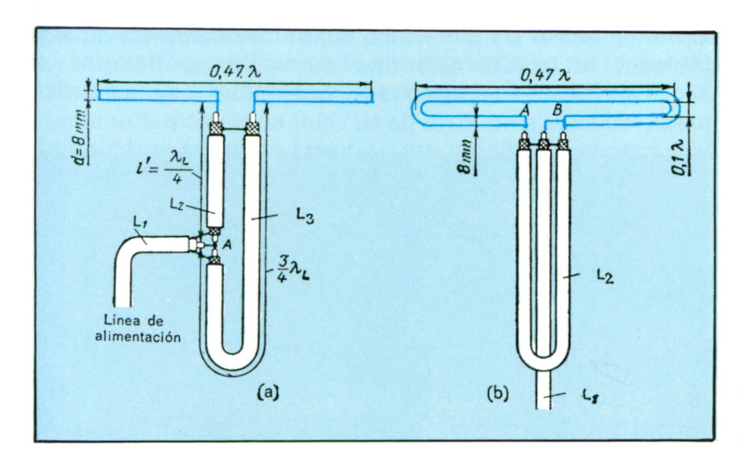


Figura 41. Esquema de la conexión de las antenas receptoras de televisión.

El esquema (*a*) está formado por cable coaxial, de 75 Ω de impedancia característica, que se ramifica a la entrada en dos sectores de longitudes $l'=\lambda_L/4$ y $L_3=3\ \lambda_L/4$, donde $\lambda_L=\lambda_{med}/\sqrt{\varepsilon}$ y λ_{med} es la longitud media de la onda de TV calculada para el aire; $\varepsilon=2{,}3$ es la constante dieléctrica relativa de la línea de alimentación. Los extremos están conectados a un dipolo en media onda.

El dipolo tiene una impedancia de entrada de 73 ohmios, así pues cada mitad tendrá, 36,5 Ω. El añadido de L_2 y de L_3 se transforma en A en una impedancia de 150 Ω

$$\left(\frac{Z^2 D_L}{36{,}5}=\frac{75^2}{36{,}5}\simeq 150\ \Omega\right)$$

por lo que la línea de alimentación L_1 en el sector *A* está cargada con $150/2=75$ Ω, que es la impedancia característica del cable coaxial y, por tanto, se ha obtenido la adaptación. Además gracias al sector en *U* se obtiene la simetría.

En el caso (*b*) se tiene un dipolo plegado cuya impedancia de entrada es del orden de 293 Ω. En *A* o en *B* se tendría la

mitad, esto es, 146,5 Ω. El bucle de media onda la transmite sin alteraciones, por consiguiente en el sector *B* se obtiene 146,5/2 = 73,25 Ω, que es aproximadamente la impedancia necesaria para la adaptación.

Para FM el tipo común de antena utilizada es la realizada con línea bifiliar de dieléctrico sólido formando un dipolo doblado. Al utilizar este tipo de cable resulta que la velocidad de onda, y por lo tanto la longitud λ de la misma, queda reducida a un 80 % de su valor en el vacío. Por tanto, para obtener un dipolo en $\lambda/4$ basta coger como longitud física 0,8 $\lambda/4$, si para λ se toma su valor en el vacío. Pero el efecto del dieléctrico sobre la longitud de onda de las corrientes de la antena es prácticamente nulo, por lo que la longitud de resonancia es del orden de $\lambda/2$ (en realidad es de 0,95 $\lambda/2$).

Antena Yagi

Cuando paralelamente a un dipolo alimentado por su centro se sitúa otro con sus bornes cortocircuitados, se inducen en este segundo corrientes que a su vez producen radiación. Este es el principio general sobre el que descansa la antena Yagi.

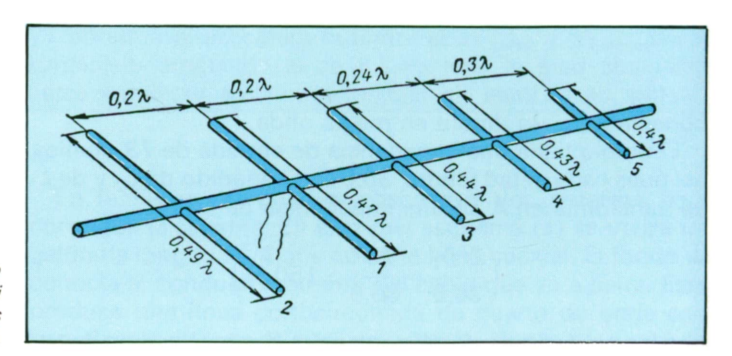
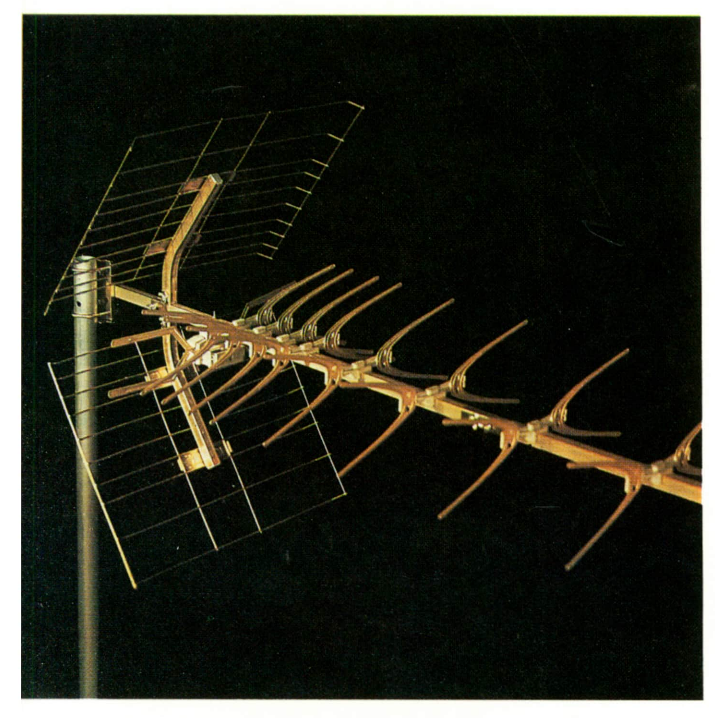


Figura 42. Antena tipo canal de ondas Yagi formada por varios elementos.

La antena Yagi consta de un dipolo excitado directamente y de varios elementos parásitos cuidadosamente acoplados, sin conexión eléctrica directa con el transmisor (o el receptor).

Si a una distancia de entre 0,05 λ y 0,15 λ de un dipolo resonante en media onda se sitúa otro parásito de longitud total comprendida entre 0,51 λ y 0,55 λ, se produce un reforzamiento de la radiación en sentido contrario, por lo que el dipolo introducido actúa como *reflector*. Si su longitud está comprendida entre 0,38 λ y 0,48 λ, el reforzamiento de la radiación se produce en la misma dirección en la que se halla este dipolo parásito y actúa como *director*.



Antena Yagi de elevada ganancia, preparada para trabajar en UHF dentro de la gama de canales altos, permitiendo una ganancia elevada para la recepción de señales de televisión en color. (Cortesía: Doyler).

La primera constatación que hizo el doctor Yagi (inventor de este tipo de antenas y de quién recibió el nombre) fue que la ganancia es pequeña cuando hay más de un reflector pero que, hasta un cierto límite, cuanta mayor cantidad de directores existan mayor es la ganancia de la antena.

Lo normal es que tengan entre 12 y 16 elementos directores, aunque se han llegado a construir antenas de

hasta 40 elementos, pero el rendimiento que se consigue no justifica su tamaño.

La antena Yagi es óptima para trabajar en las gamas de HF y UHF con un ancho de banda estrecho. Para conseguir anchos de banda grandes no queda más remedio que utilizar elementos extragruesos, añadirle reactancia o ajustar el acoplamiento de la línea de transmisión.

La constitución física de una antena Yagi puede contemplarse en la figura 42. El dipolo 1 es el activo que se une al receptor o al transmisor. El 2 es el reflector y los demás (3, 4, 5) son los directores. El sistema garantiza que la radiación esté dirigida del reflector a los directores.

No se necesitan aislantes para los dipolos, puesto que el soporte metálico es simétrico con respecto a los brazos de los dipolos y no influye en el proceso de radiación o de recepción.

Para que esta antena funcione correctamente, es necesario que la onda que se propaga del reflector a los directores vaya desfasándose el mismo ángulo que la corriente en cada dipolo. Esto genera una amplificación de la onda a medida que ésta se propaga del reflector a los directores, diciéndose que la antena Yagi se basa en el principio de las «ondas progresivas».

En los dipolos reflectores la corriente se adelante en fase y en los directores se retrasa con respecto a la corriente en el dipolo activo. Esto implica que un dipolo reflector deba tener caracter de reactancia inductiva y el director de reactancia capacitiva.

La influencia de los dipolos directivos sobre la impedancia entrada del dipolo activo es tal que la reduce en relación con la del dipolo solo. Esto ocasiona la necesidad de adaptar la antena a la línea de alimentación, por lo que normalmente se utiliza un dipolo plegado como dipolo activo (ver dipolo simple).

La directividad de una antena Yagi viene dada por la fórmula

$$D = K \cdot L_A / \lambda \qquad (10)$$

donde K es un coeficiente de valor comprendido entre 5 y 10 que depende del número de directores; L_A es la longitud total de la antena (entre el dipolo reflector y el último director) y λ es la longitud de onda.

La antena Yagi hasta ahora descrita puede ser mejorada utilizándose reflectores planos sólidos o simulados sin varillas conductoras próximas. La forma más simple consiste en añadirle a 0,25 λ un plano conductor que refleja la energía radiada por el dipolo activo en su dirección. Otra variante de reflector es el diédrico, que forma un ángulo de 90 grados y suele ser de reducidas dimensiones. Esto mejora notablemente la relación delante-atrás.



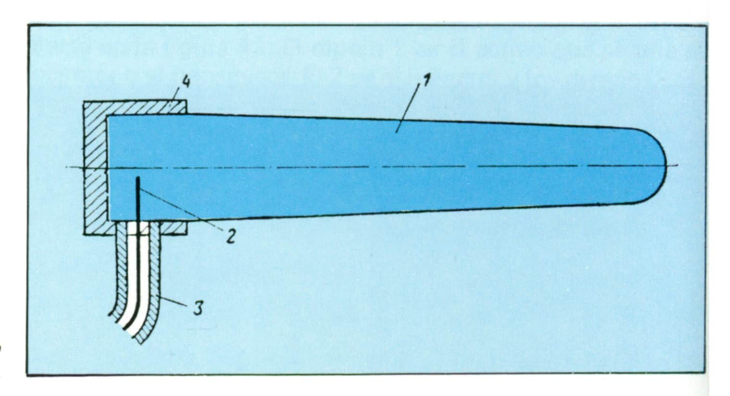
Antena cúbica tipo Quad; se trata de otro tipo de antena empleada por los radioaficionados en algunas ocasiones.

Antenas dieléctricas

El principio utilizado por este tipo de antenas es muy simple: cuando un dieléctrico tiene un grosor determinado, en él se pueden propagar ondas electromagnéticas de polarización transversal.

La constitución normal de una antena dieléctrica es un

trozo de dieléctrico cónico de bajas pérdidas al que se excita mediante el conductor activo del cable de alimentación. En su parte posterior está cubierta por una caperuza metálica en la que las ondas que se propagan hacia atrás se reflejan, obligando con ello a que la radiación se produzca por la parte estrecha del cono dieléctrico.



Antena dieléctrica sencilla de un solo elemento.

Los dos parámetros fundamentales en torno a los cuales gira la radiación de estas antenas son d el diámetro del cono, y λ la longitud de la onda a radiar. Mientras la relación d/λ sea grande, los campos se concentran en el interior de la varilla propagándose en su interior como si fuera un guiaonda dieléctrico. A medida que esta relación disminuye, la cantidad de energía que sale al exterior es mayor. De forma paralela también disminuye su impedancia característica, que se hace cada vez más próxima a la del aire.

Esto explica la necesidad de utilizar varillas cónicas. Cerca de la cápsula el diámetro debe ser tal que satisfaga las condiciones de propagación de ondas transversales (el llamado modo HE_{11}) que se expresa por:

$$d_{máx.} \simeq \frac{0{,}565\ \lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}} \qquad (11)$$

Luego ha de ir disminuyendo paulatinamente d_{min} para que la varilla esté prácticamente adaptada al aire. Este valor es:

$$d_{min} \approx \frac{0{,}35\ \lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}}$$

Para calcular la longitud es necesario tener en cuenta el coeficiente de retardo óptimo. El coeficiente de retardo es la relación entre la velocidad de la onda en el vacío (300.000 km/s) y la velocidad en el medio (v):

$$K_r = \frac{C}{v} \qquad (13)$$

En una antena de onda progresiva el coeficiente óptimo de retardo viene dado por:

$$K_{r\ opt.} = 1 + \frac{\lambda}{2\ L_A} \qquad (14)$$

donde L_A es la longitud de la antena.

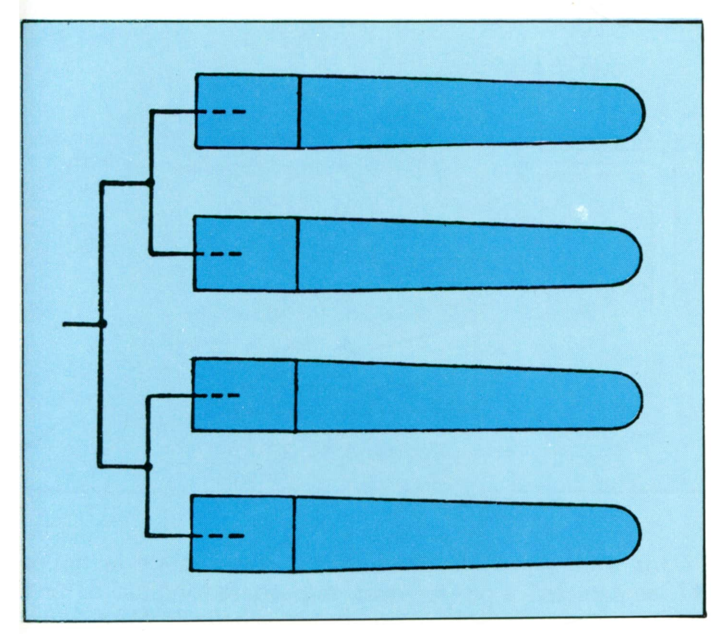


Figura 46. Antena dieléctrica formada por cuatro unidades acopladas.

Existen unas tablas que dan la relación v/C en función de d/λ para una relación $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ determinada (ε constante dieléctrica

del medio). Como d se toma el valor medio $\left(\frac{d_{máx.} + d_{mín.}}{2}\right)$. Se toma el valor K_r hallado y se iguala a la ecuación (14) de donde se deduce L_A.

Cuando el valor hallado para L_A exceda a 10 λ, sería conveniente adoptar varias varillas para realizar la antena, excitando todas ellas en fase (figura 46).

Antenas helicoidales

Normalmente están constituidas por un conductor arrollado en forma de hélice que se alimenta por medio de un coaxial. El conductor activo (interno) está unido a la hélice, mientras que el externo lo está a un plano reflector (figura 47).

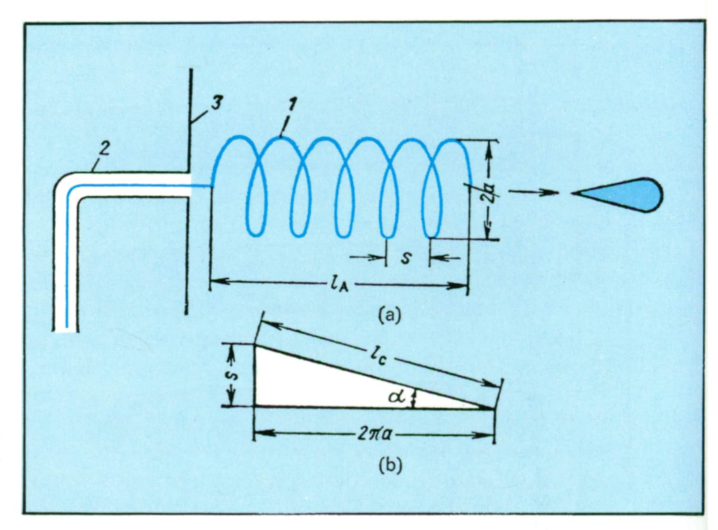


Figura 47. Antena helicoidal representada de forma esquemática, y su diagrama de fuerte directividad.

Una antena helicoidal cilíndrica, como la de la figura 47, se caracteriza por su radio, el paso, la longitud de una espira, número de espiras, longitud de la hélice sobre su eje y por el ángulo de elevación.

Su radiación es axial y su funcionamiento en régimen de onda progresiva. La radiación que se produce en cada espira atenúa la corriente en las siguientes, haciendo que en el

extremo se refleje poca energía. Si el cálculo es correcto no se reflejaría absolutamente nada, que es la condición necesaria para que no existan ondas estacionarias y, por tanto, el régimen sea de onda progresiva.

Una de las grandes ventajas de la antena helicoidal es que, una vez calculada para λ, su funcionamiento es eficaz para todas aquellas frecuencias cuya longitud de onda esté comprendida entre 0,7 λ y 1,2 λ.

Su aplicación se extiende desde las ondas métricas a las decimétricas y como excitadores en las centimétricas.

Antenas planas de ondas superficiales

La radiación en estas antenas tiene lugar sobre la superficie de un sistema de retardo. En la figura 48 se

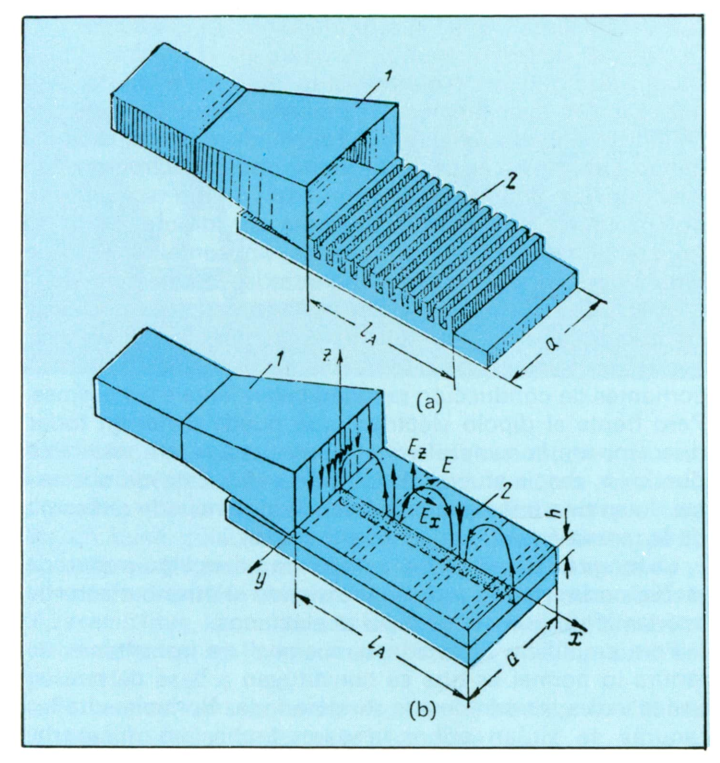


Figura 48. Antena de ondas superficiales.

puede ver un sistema de retardo (la placa ranurada) excitado por una antena de bocina.

La placa ranurada es un sistema de retardo porque sobre ella la velocidad de propagación de la onda (v) es menor que la velocidad de la luz.

Su uso se extiende actualmente a las ondas centimétricas, habiéndoseles abierto muy buenas perspectivas para ser utilizadas a bordo de aviones gracias a su gran ancho de banda, por ser fáciles de construir, de poca altura y seguras.

Antenas de ranura

La dualidad que se deduce de la simetría de las ecuaciones de Maxwell, relativas a los campos magnéticos, dio pie a los científicos Neiman, Pistollkors y Feld al desarrollo teórico de las antenas de ranura.

Si una ranura hecha sobre un plano ilimitado, de longitud $\lambda/2$, se alimenta por su centro mediante un generador a la frecuencia correspondiente, surgirán en la misma ondas progresivas que se desplazarán a lo largo de la ranura. Una vez alcancen los extremos de la misma (que están cortocircuitados) éstas se reflejarán produciéndose ondas estacionarias. Esta ranura es capaz de emitir ondas electromagnéticas que se diferencian de las del dipolo sólo en la polarización, puesto que mientras un dipolo eléctrico horizontal radia ondas polarizadas horizontalmente, una ranura horizontal radia ondas polarizadas verticalmente.

Habitualmente las ranuras se practican en las paredes de las guiaondas o en los radiadores volumétricos. Para que funcionen como buenas antenas es necesario que corten las corrientes de conducción perpendicularmente a las mismas. Pero frente al dipolo eléctrico, que puede radiar en todas direcciones, la ranura sólo puede radiar en una sola dirección: «hacia afuera» de las guíaondas. Esta circunstancia determina una disminución de la potencia de radiación de la ranura (queda reducida a la mitad).

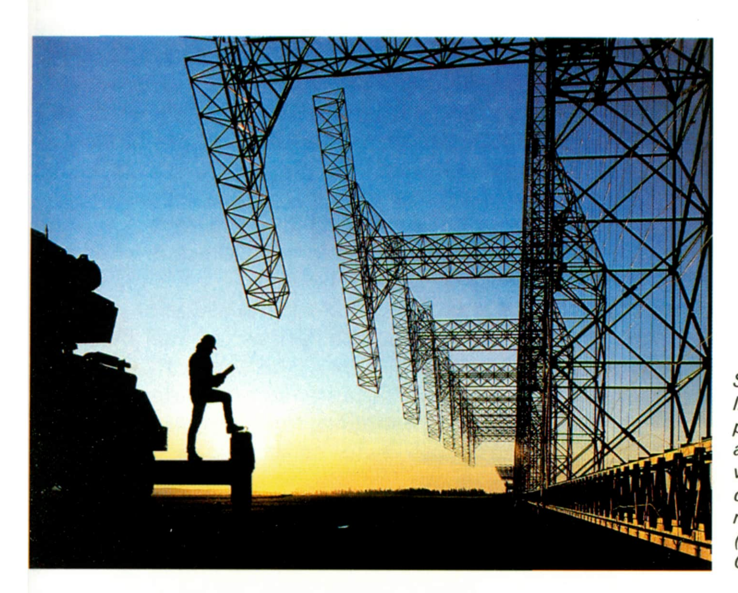
La longitud de resonancia de la ranura es algo menor de media onda, ya que a ellas se extiende el mismo efecto de acortamiento que en los dipolos eléctricos.

Para amplificar la acción direccional de las antenas de ranura lo normal es que se constituyan a base de ranurar varias veces las paredes de un guiaonda. Normalmente las ranuras se sitúan sobre la cara ancha del guiaonda,

espaciadas $\lambda/2$, y colocadas alternativamente a un lado y a otro de dicha pared.

Antenas de bocina

La más sencilla de las antenas superficiales es el extremo abierto de un guiaonda. Las ondas que se propagan por su interior, al llegar al extremo abierto se dispersan por el espacio. Intuitivamente se ve que dicha radiación sólo



Sistema de radar sobre la línea de horizonte. Este potente sistema de antenas permite una vigilancia aérea con una cobertura de 1.800 millas marítimas. (Cortesía: General Electric Co.).

puede ser «hacia adelante». Un análisis cuantitativo de este tipo de antena, llamada de apertura, da como resultado descubrir que es un radiador bastante ineficaz, ya que para ser un buen guiaonda se requiere que las medidas de la abertura sean iguales o menores que la longitud de onda y, además, existen demasiadas reflexiones de las ondas al pasar al espacio libre, lo cual es una pérdida de energía. Para evitar estos defectos se le añade una bocina a la abertura del guiaonda.

El gradual ensanchamiento de la bocina facilita la adaptación de las ondas al espacio libre.

Las antenas de bocina son todas de banda ancha, ya que un aumento de la longitud de onda determina una disminución de las distorsiones de fase en la abertura de la bocina y, por consiguiente, se amplifica la directividad de la antena.

Antenas reflectoras

Para transformar las ondas no directivas o débilmente directivas de una fuente (radiador primario) en agudamente directivas se utilizan las antenas reflectoras.

Es habitual llamar a estas antenas «parabólicas», puesto que como curva primaria se utiliza la parábola para generar dichas antenas. Normalmente son de dos tipos: el paraboloide de revolución, que se consigue haciendo girar una parábola alrededor de su eje, y el cilindro parabólico, que se obtiene al desplazar una parábola sobre dos ejes paralelos que son los generadores del cilindro.

La propiedad que se aprovecha de la parábola es que todas las ondas que inciden desde el foco sobre el espejo parabólico se reflejan en un haz paralelo.

Todo foco puntual (como podría ser el radiador primario de estas antenas) genera ondas esféricas (a igual distancia del foco se tiene igualdad de fase), que son convertidas en planas por el paraboloide. Por tanto, se puede decir que las antenas con reflector parabólico transforman las ondas esféricas en planas. Con esto se consigue la máxima directividad posible, ya que la onda radiada queda limitada a la superficie de la antena reflectora.

Estas afirmaciones están basadas en las leyes de la óptica geométrica, que no es procedente examinar con detalle aquí.

Normalmente se utilizan paraboloides de revolución con el foco emisor alejado del mismo, puesto que de lo contrario se crean zonas donde la amplitud de los campos se debilita. Además se le suele añadir un antirreflector justo detrás del foco emisor.

Pronto este tipo de antenas puede ser común sobre nuestros tejados, como ahora lo son las Yagi o los dipolos doblados.

Esto es debido a la puesta en marcha de planes para la emisión de televisión vía satélite, que harán imprescindible la utilización de estos reflectores. Ya se han presentado en el mercado las primeras antenas parabólicas de 80 centímetros, y de 2 y 3 metros (diámetro del círculo de esta antena).

Excitadores para microondas

Para que una antena reflectora cumpla su misión concentradora de las ondas electromagnéticas generadas por el radiador primario, es necesario que éste cumpla un mínimo de requisitos. Entre otros, será necesario que la energía que radia no se disperse fuera del área del reflector ni tampoco que tenga radiación en la dirección opuesta al reflector.

Es también muy importante que el excitador no «tape» parte de las ondas reflejadas por el paraboloide, ya que además de perderse energía de radiación esta pérdida es absorbida por el radiador primario, generándose así ondas estacionarias en el mismo. Ya se comentó en el apartado anterior que el radiador primario debiera estar en el foco del paraboloide, y esto es así porque es el único punto desde el que se pueden formar, a la salida del reflector, campos en fase.

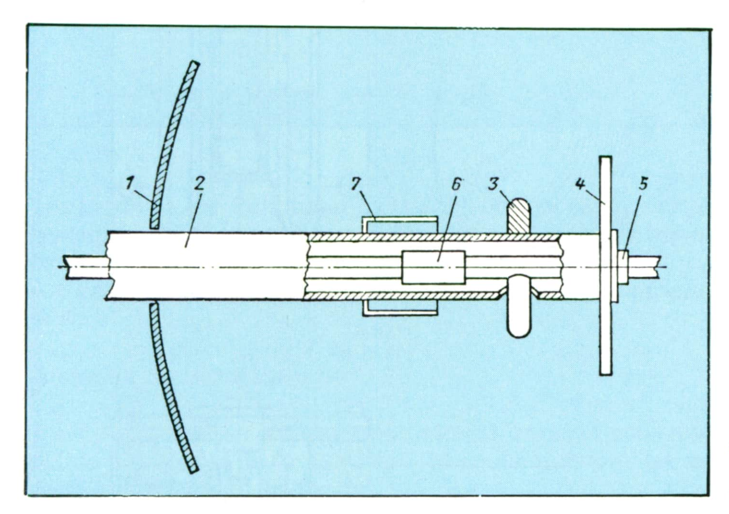
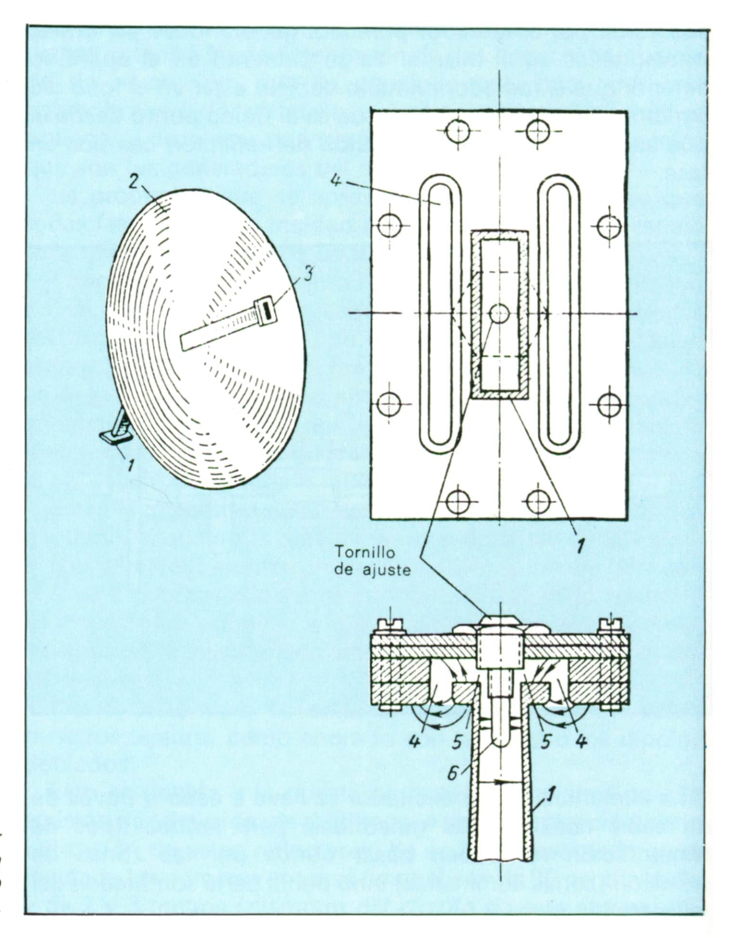


Figura 50. Radiación de un paraboloide mediante un dipolo de media onda.

La alimentación del excitador se lleva a cabo a través de un cable coaxial o de guiaondas, pero ambos tipos de alimentación no deben pasar nunca por las zonas de reflexión (zonas iluminadas) sino por la parte sombreada del reflector.

Un ejemplo de excitador puede verse en la figura 50. Se trata de un dipolo en media onda cuya alimentación se suministra por la parte trasera del paraboloide 1, mediante el coaxial 2. El dipolo 3 tiene una mitad unida al cable externo y la otra mitad al interno. Aquí se le ha añadido un contrarreflector 4 que, conjuntamente con el tapón de cobre 5, cortocircuitan la línea.

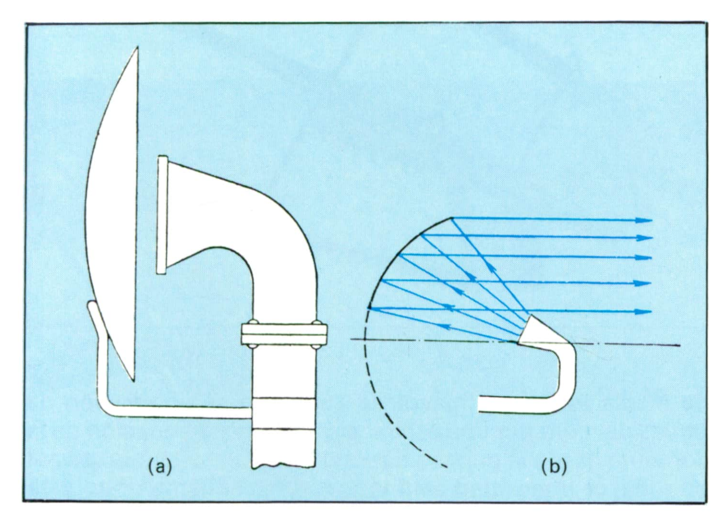
Es evidente que la radiación hacia atrás del dipolo será tanto menor cuanto mayor sea el disco 4, pero esto ocasionará una mayor zona sombreada (tapada). Por ello se



Paraboloide con excitador de ranura empleado para frecuencias del tipo microondas.

elige un tamaño de compromiso que se suele situar en un diámetro de 0,8 λ.

La forma escogida para adaptar la línea coaxial al dipolo es hacer un ensanchamiento del conductor interior (6) durante



a) Excitador de bocina de una antena parabólica; b) Antena parabólica con un excitador que no crea efecto de sombra.

una longitud $\lambda/4$. Para pasar de la línea coaxial asimétrica al dipolo simétrico se utiliza un balún que está formado por el casquete 7, también de cuarto de onda.

Otros tipos de excitadores son los de bocina, de ranura, etc.

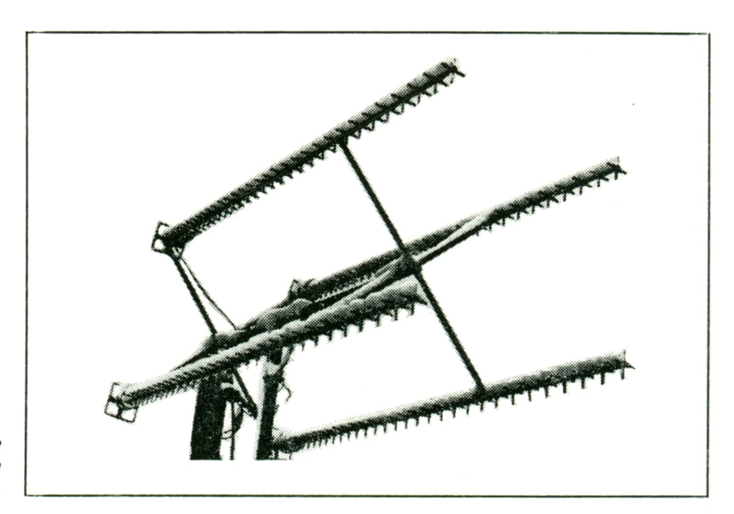
Antenas de banda ancha

Entre otras están en este apartado las antenas espirales planas aritméticas de Arquímedes, las equiangulares y las de período logarítmico.

La antena espiral aritmética

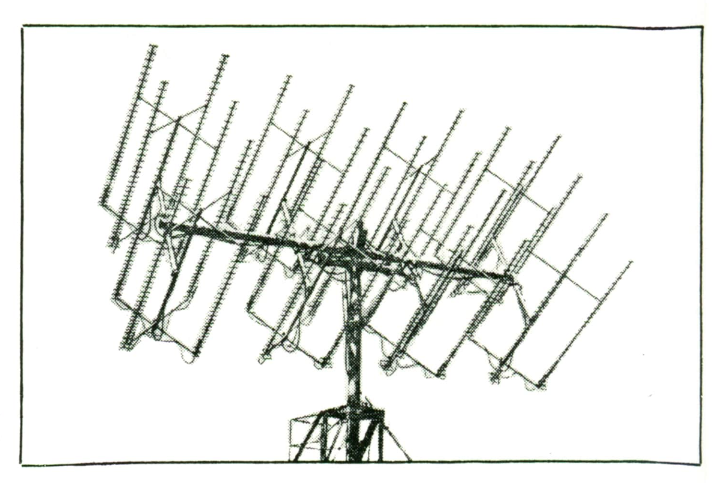
Puede estar realizada con cintas metálicas o de ranuras en una pantalla metálica.

La condición necesaria para que una antena de este tipo radie es que el desplazamiento de fase debido a la longitud



Antena terrestre de recepción de 23 dB para el sistema ECRAN 74.

de media espira sea mayor de 180°. Como la radiación de ondas de radio por una espiral provoca una atenuación de la corriente desde la primera hasta el final, la espira que radiará con mayor intensidad será la primera resonante. Pero esta atenuación es tan grande en este tipo de antenas que se puede decir que no hay reflexión en su extremo y, por tanto, que funciona según el principio de las ondas progresivas. En



Antena terrestre de recepción de 30 dB para el sistema ECRAN.

estas condiciones la radiación es axial con polarización circular.

Antena espiral equiangular

En esta espiral la anchura de los brazos no permanece



Un mismo soporte sirve como sujección a las antenas de AM y FM, incluso televisión y enlaces de microondas.

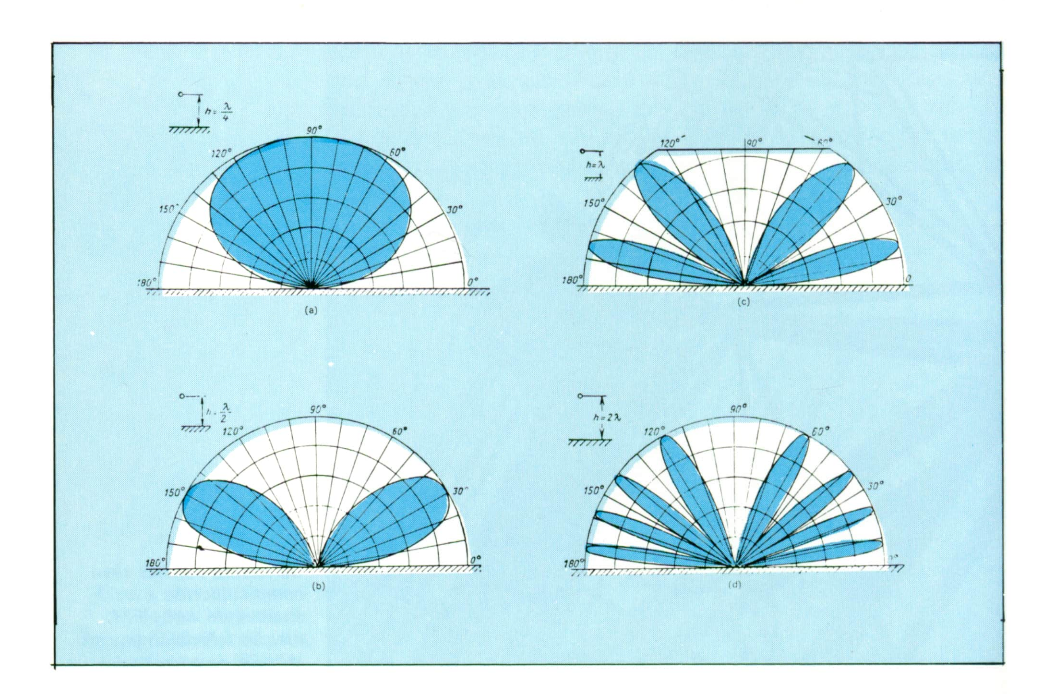
constante. Su funcionamiento es, como en el caso anterior, en régimen de onda progresiva, y ni la ganancia, ni el ancho de banda, ni la directividad dependen de la frecuencia.

Una típica antena logarítmica de ranura podría estar formada por una longitud máxima de brazo de 42,3 centímetros, un radio inicial de 0,51 centímetros y un coeficiente de aumento del radio vector (cuanto aumenta por vuelta el radio de la espiral) a = 0,303. Una antena así radia ondas polarizadas circularmente en la banda de $\lambda = 3$ a 15 centímetros, y con una alimentación a través de un cable de 50 Ω el factor de onda estacionaria (medida del desacoplo) no es mayor de 2 aunque suele estar comprendido entre 1 y 1,5.

Figura 56. Diagramas de radiación en el plano vertical de un dipolo horizontal suspendido a diferentes alturas: a) $h = \lambda/4$; b) $h = \lambda/2$; c) $h = \lambda$; d) $h = 2\lambda$.

Antena de período logarítmico

Son antenas construidas de manera que sus propiedades eléctricas se repiten periódicamente con el logarítmico de la longitud de onda, siendo el período de repetición ln K_r,



$$K_r = \frac{\lambda_1}{\lambda_0} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} = \ldots = \frac{\lambda_n}{\lambda_{n-1}} \qquad (15)$$

con λ_0, λ_1, λ_2,..., λ_n siendo los límites de las sub-bandas. Cuanto menor sea este período tanto menos variarán las propiedades eléctricas, pero habrán de ser más los elementos radiantes de la estructura.



Estación terrena de comunicaciones vía satélite. Obsérvese la gran cantidad de parábolas de gran tamaño, lo que permite trabajar con niveles de señal muy pequeños.

Este tipo de estructuras se puede usar o bien como antena independiente de los sistemas de banda ancha o como excitadores para las antenas parabólicas.

PROPAGACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

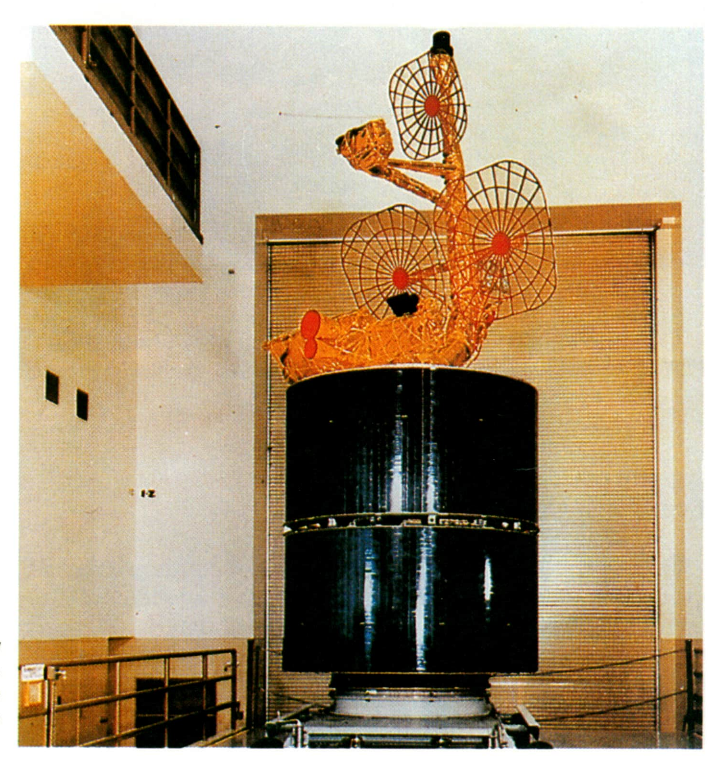
Para comprender cómo viajan las ondas eletromagnéticas desde una antena (la transmisora) a otra (la receptora), se van a analizar los efectos que ejerce sobre los campos electromagnéticos de los dipolos horizontal y vertical una pantalla conductora.

Si la pantalla es un conductor perfecto, ésta crea imágenes de las antenas situadas sobre ella. Serían de igual sentido las

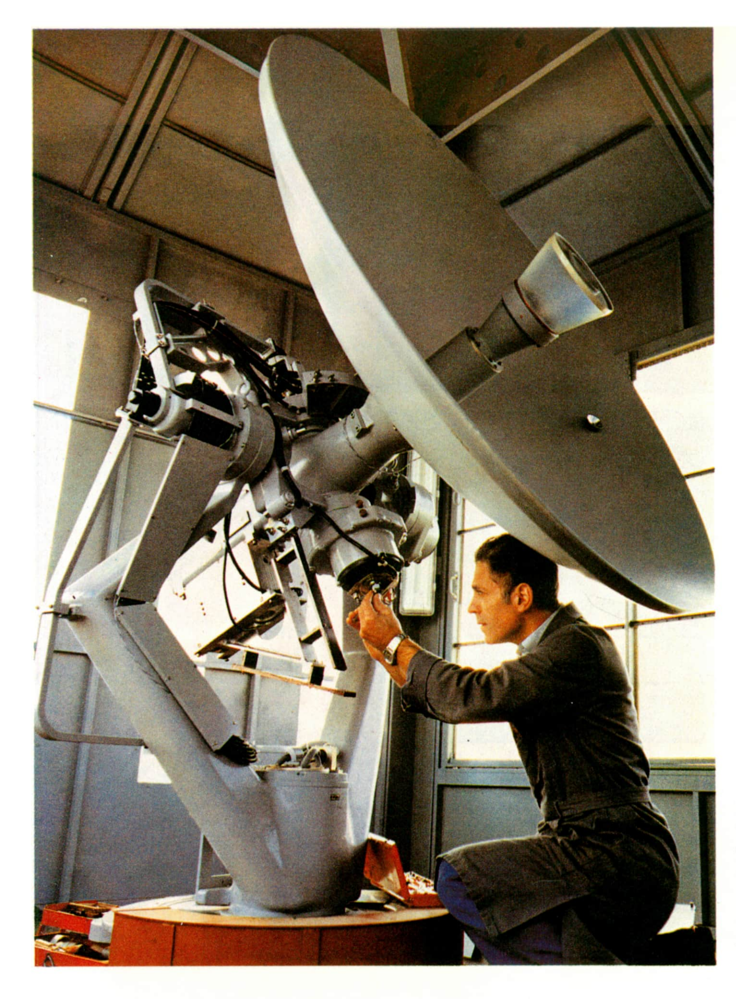
verticales y de sentido opuesto las horizontales. Esto se traduce, para el caso de un dipolo horizontal, en que la radiación resultante es equivalente a la de un dipolo, sólo que el centro de fases se ha desplazado al punto medio entre el dipolo y su imagen eléctrica (justo sobre la pantalla). Como la onda que resulta es esférica, la amplitud del campo eléctrico es inversamente proporcional a la distancia.

Al ser el sentido de las corrientes opuestas en el diodo y en su imagen, en el plano de la pantalla no hay diferencia de caminos de las ondas de uno y otro, por lo que, sea cual sea la altura de suspensión *h* de este dipolo sobre la pantalla, éste no radia a lo largo de la superficie de la pantalla.

En la práctica, la tierra ejerce el efecto de pantalla para muchas antenas. Cuando se está en las bandas de onda larga y muy larga, la conductividad de la tierra es tan elevada que su influencia sobre la radiación es prácticamente igual a la



Aspecto que presenta el satélite Intelsat IV, que se utiliza como reemisor de telecomunicaciones desde la tierra.



Equipo de enlace de microondas para satélite. Este sistema está provisto de un regulador de desplazamiento de la parábola en cualquier dirección.

que ejerce una pantalla conductora ideal. Pero al aumentar la frecuencia la conductividad de la tierra disminuye hasta el punto que es necesario tomarla en cuenta.

Como efectos más significativos pueden establecerse:

1) La reflexión disminuye en favor de la refracción, esto es, la tierra empieza a absorber la energía radiada.
2) Los ángulos de desfase que se producen al chocar las ondas con la tierra ya no valen o bien 0 ó 180°.

Si el dipolo es vertical, la disminución de la conductividad de la tierra provoca un debilitamiento muy importante del máximo de radiación y la desviación de éste de la superficie de la tierra, cosa que no ocurre con el horizontal.

	Banda	*Tipo de antena*	*Características*	*Forma*
ANTENAS EMISORAS EN RADIODIFUSION - TELEVISION	OL OM	— Mastiles ó hilos radiantes (1)	— Omnidireccional — Baja eficiencia	
	OC	— Agrupaciones de mástiles o dipolos — Rombicas (2)	— Direccionales con ángulo de elevación sobre el horizonte — Polarización horizontal o vertical	
	FM TV {VHF UHF	— Mástiles radiantes (16) cilindros ranurados — Cruzada (turnstile) (3) — Cortina de dipolos horizontales (4)	— Omnidireccional en el plano horizontal — Direccional en el plano vertical — Polarización horizontal	
ANTENAS RECEPTORAS EN RADIODIFUSION - TELEVISION	OL OM	— Espiras con núcleo de ferrita (5)	— Direccional — Muy baja eficiencia — Compacta y de poco peso	
	OC	— Monopolo - fijo o teles- (6) cópico	— Prácticamente omnidireccional	
	FM	— Dipolo doblado con y sin reflector (7) — Yagi (8) — Dipolo doblado curvado (9) — Monopolo fijo o telescópico	— Direccional — Aplicaciones de antenas colectivas — Prácticamente omnidireccional	
	VHF Banda I	— Dipolo doblado con o sin reflector (7)	— Direccioal — Ganancia típica 3dB	
	VHF: Banda III UHF	— Yagi (8)	— Direccional — Ganancia típica 5-15 dB	
ANTENAS DE RADIOAFICIONADOS	160 m 80 m 40 m	— Mastiles con y sin carga (1)	— Poco directivo	
		— Dipolos horizontales o hilos radiantes (9)	— Difícil de obtener haz rasante	
		— Cuadro (40 m) (10)	— Puede reducirse su diámetro	
	20 m 15 m 10 m 6 m 2 m	— Monopolos $\lambda/4$, $\frac{5\lambda}{8}$ (11) — Colineales (bandas cortas) (12) — Dipolos horizontales (13) — Cuadro (10) — Yagi (8)	— Banda única o multibanda	
ANTENAS DE COMUNICACIONES PROFESIONALES	27 MHz	— Monopolo $\lambda/4$ (14) — Monopolo 5 $\lambda/8$ (14) — Colineal 5 $\lambda/8$ (12)	$G \simeq 0$ dB — Estaciones fijas o móviles $G \simeq 3{,}4$ dB — Onnidireccional plano horizontal $G \simeq 6$ dB — Direccional plano vertical	
	144 MHz	— Con plano de tierra (15) (Ground plane)		
	440 MHz	— Agrupaciones de dipolos	— Estaciones fijas — Omnidireccional plano horizontal — Direccional plano vertical	

